



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

STUDI OPTIMASI KELUARAN DAYA AKTIF *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL TIGA FASA DENGAN REKONFIGURASI JARINGAN DAN PENENTUAN LOKASI DG MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM*

Aris Munandar
NRP 2213105033

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dr.Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**STUDY OF DISTRIBUTED GENERATION ACTIVE POWER
OUTPUT OPTIMIZATION IN THREE PHASE RADIAL
DISTRIBUTION NETWORK WITH NETWORK
RECONFIGURATION AND DG PLACEMENT USING
GENETIC ALGORITHM**

Aris Munandar
NRP 2213105033

Advisor
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**STUDI OPTIMASI KELUARAN DAYA AKTIF *DISTRIBUTED*
GENERATION (DG) PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL TIGA FASA
DENGAN REKONFIGURASI JARINGAN DAN PENENTUAN LOKASI
DG MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
NIP.194907151974121001

Dosen Pembimbing II



Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.
NIP. 197411292000121001

**SURABAYA
JULI, 2015**

JURUSAN
TEKNIK ELEKTRO

ABSTRAK

Perkembangan beban yang terus meningkat namun tidak diimbangi dengan pembangkitan energi listrik yang memadai dapat mengganggu ketersediaan energi listrik bagi pelanggan. Salah satu cara untuk menjaga ketersediaan energi listrik yang mampu mengakomodasi perkembangan beban tanpa menambah kapasitas pembangkit utama adalah dengan menempatkan *Distributed Generation* (DG). DG mampu memasok daya aktif tambahan pada jaringan distribusi energi listrik namun penempatan yang kurang tepat dapat mengakibatkan keluaran daya aktif DG yang tidak maksimal. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini diusulkan rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG yang sesuai dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* untuk diuji pada sistem distribusi radial tiga fasa.

Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penempatan 1 DG 1 MW pada bus 23 sistem IEEE 33 bus menghasilkan keluaran daya aktif sebesar 1 MW. Penempatan 2 DG 1MW pada bus 15 dan 31 sistem IEEE 33 bus, menghasilkan keluaran daya aktif maksimal sebesar 1 MW pada setiap DG. Penempatan 3 DG 1MW pada bus 29,30 dan 32 sistem IEEE 33 bus, menghasilkan keluaran daya aktif maksimal sebesar 1 MW pada setiap DG. Rekonfigurasi jaringan dan penempatan 3 DG 1 MW mampu menghasilkan keluaran daya aktif DG maksimal sebesar 0,87 MW pada bus 27, 0,94 MW pada bus 30, dan 1 MW pada bus 33.

Kata kunci: Daya Aktif, *Distributed Generation*, *Genetic Algorithm*, Rekonfigurasi Jaringan

ABSTRAK

Perkembangan beban yang terus meningkat namun tidak diimbangi dengan pembangkitan energi listrik yang memadai dapat mengganggu ketersediaan energi listrik bagi pelanggan. Salah satu cara untuk menjaga ketersediaan energi listrik yang mampu mengakomodasi perkembangan beban tanpa menambah kapasitas pembangkit utama adalah dengan menempatkan *Distributed Generation* (DG). DG mampu memasok daya aktif tambahan pada jaringan distribusi energi listrik namun penempatan yang kurang tepat dapat mengakibatkan keluaran daya aktif DG yang tidak maksimal. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini diusulkan rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG yang sesuai dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* untuk diuji pada sistem distribusi radial tiga fasa.

Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penempatan 1 DG 1 MW pada bus 23 sistem IEEE 33 bus menghasilkan keluaran daya aktif sebesar 1 MW. Penempatan 2 DG 1MW pada bus 15 dan 31 sistem IEEE 33 bus, menghasilkan keluaran daya aktif maksimal sebesar 1 MW pada setiap DG. Penempatan 3 DG 1MW pada bus 29,30 dan 32 sistem IEEE 33 bus, menghasilkan keluaran daya aktif maksimal sebesar 1 MW pada setiap DG. Rekonfigurasi jaringan dan penempatan 3 DG 1 MW mampu menghasilkan keluaran daya aktif DG maksimal sebesar 0,87 MW pada bus 27, 0,94 MW pada bus 30, dan 1 MW pada bus 33.

Kata kunci: Daya Aktif, *Distributed Generation*, *Genetic Algorithm*, Rekonfigurasi Jaringan



ABSTRACT

The load development but not matched with adequate electrical energy generation could disrupt the availability of electrical energy for customers. One way to maintain the availability of electrical energy that is able to accommodate growth without increasing the load capacity of the main plant is to put the Distributed Generation (DG). DG able to supply additional active power in the electric energy distribution network but is less precise placement may result in active power output DG is not optimal. Therefore, in this final project proposed reconfiguration of the network and determining the location of the corresponding DG by using Genetic Algorithm to be tested on a three-phase radial distribution system.

Based on the results obtained indicate that the placement of 1 DG 1 MW at 23 bus IEEE 33 bus system produces active power output of 1 MW. 2 DG 1MW placement on buses 15 and 31 IEEE 33 bus system, resulting in a maximum active power output of 1 MW in each DG. Placement 3 DG 1MW at 29,30 and 32 bus IEEE 33 bus system, resulting in a maximum active power output of 1 MW in each DG. Network reconfiguration and placement 3 DG 1 MW capable of producing a maximum output of active power of 0.87 MW DG on bus 27 on bus 30 0.94 MW and 1 MW at bus 33

Keyword: Distributed Generation, Genetic Algorithm, Network Reconfiguration, Real Power



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, dengan segala puji syukur kepada Allah SWT yang memiliki segala apa yang ada di dunia. Dengan segala kerendahan hati, hanya karena limpahan kasih sayang, karunia, petunjuk, dan bimbingan Allah SWT penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Studi Optimasi Keluaran Daya Aktif *Distributed Generation* (DG) Pada Sistem Distribusi Radial Tiga Fasa dengan Rekonfigurasi Jaringan dan Penentuan Lokasi DG Menggunakan *Genetic Algorithm*”

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri-Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu, bapak, mas Imam, dan mbak Kiki atas perjuangan dan dukungan yang diberikan kepada penulis untuk dapat meraih ilmu dan menyelesaikan studi di Teknik Elektro - ITS
2. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D dan Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T., sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan arahan dan perhatiannya dalam penyelesaian Tugas Akhir.
3. Teman-teman seperjuangan Final Project B103 dari Laboratorium Simulasi Teknik Tenaga, Tim Sepuluh Antok, Nizar, Gembol, Bagus, Agung, Okta, Yakin, Kakim, Surya. Dan tim Power Ranger : Rizqi, Oyong, Indro, Umen, Samsu, Fian.
4. Teman-teman “kerengcrew” yang selalu menemani diakhir pekan.
5. Keluarga Besar Teknik Elektro yang selama ini menemani dalam setiap kondisi.

Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juni 2015

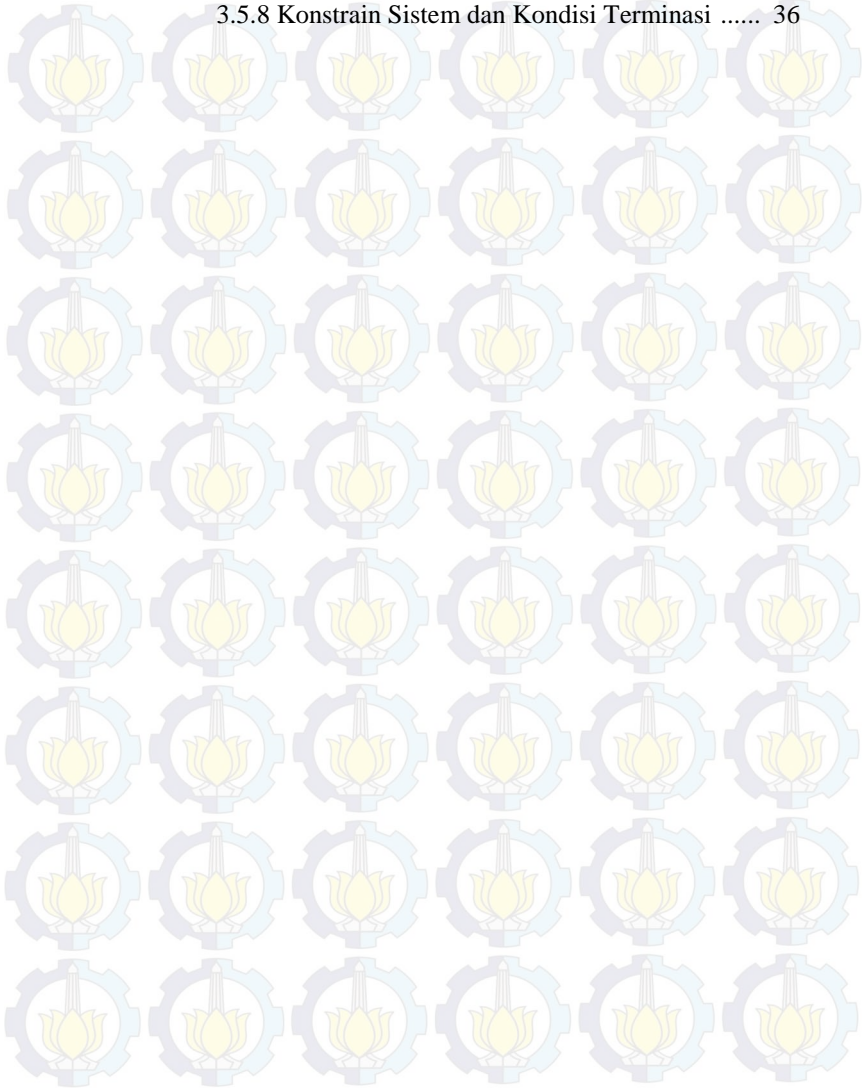
Penulis



DAFTAR ISI

BAB I	PENDAHULUAN	1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Permasalahan	2
1.3	Batasan Masalah	2
1.4	Tujuan	2
1.5	Metode Penelitian	2
1.6	Sistematika Penulisan	4
1.7	Relevansi	4
BAB II	DG, SISTEM DISTRIBUSI REKONFIGURASI JARINGAN DAN GA	5
2.1	<i>Distributed Generation</i> (DG)	5
2.2	Sistem Distribusi	7
2.3	Rekonfigurasi Jaringan	10
2.4	Algoritma Genetika	11
2.4.1	Istilah-istilah dalam Algoritma Genetika	13
2.4.2	Teknik Pengkodean	14
2.4.3	Prosedur Inisialisasi	15
2.4.4	Fungsi Evaluasi	15
2.4.5	Seleksi	16
2.4.6	Operator Genetika	16
2.3.6.1	Pindah silang (<i>Crossover</i>)	16
2.3.6.2	Mutasi	17
2.3.6.3	Elitisme	19
BAB III	METODE PENEMPATAN DAN PENENTUAN KAPASITAS OPTIMAL PEMBANGKIT TERSEBAR (DG)	21
3.1	Aliran Daya pada Sistem Distribusi Radial	21
3.2	Metode K-Matrik dan Z_{BR}	22
3.2.1	Metode Z_{BR}	22
3.2.2	Metode K-Matrik	26
3.3	GA untuk Memaksimalkan Daya Aktif DG	28
3.3.1	Pengkodean Kromosom	31
3.3.2	Pembangkitan Populasi Awal	32
3.3.3	Evaluasi Individu	33
3.3.4	Seleksi Menggunakan <i>Roulette Wheel</i>	33

3.3.5 Prosedur Pindah Silang	35
3.3.6 Mutasi	35
3.5.8 Konstrain Sistem dan Kondisi Terminasi	36



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Aris Munandar, lahir di Malang – Jawa Timur pada Tahun 1992. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Negeri Ardimulyo 1, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Singosari dan SMK Negeri 8 Malang. Pada tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan jenjang Diploma di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya dengan konsentrasi bidang studi Teknik Elektronika. Pada tahun 2013 penulis berhasil menyelesaikan pendidikan diploma dan pada saat itu juga melanjutkan pendidikan untuk jenjang sarjana. Pendidikan sarjana ditempuh di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di jurusan teknik elektro dengan konsentrasi bidang studi sistem tenaga.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Belakangan ini teknologi tentang *Distributed Generation* (DG) sering menjadi topik penelitian seiring dengan peningkatan kepekaan masyarakat terhadap energi terbarukan yang bersih dan ramah lingkungan. Kebutuhan energi listrik yang terus berkembang dapat mengancam kemampuan pembangkit utama dalam memasok energi listrik yang dibutuhkan oleh masyarakat. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menempatkan DG pada jaringan distribusi. Dengan menempatkan DG, kemampuan jaringan distribusi untuk memasok daya aktif kepada pelanggan dapat ditingkatkan sehingga perkembangan beban yang mungkin terjadi dapat teratasi. Namun, dengan penambahan DG pada jaringan distribusi akan berdampak terhadap perencanaan, operasi dan kontrol jaringan distribusi. Arah aliran daya dan arus hubung singkat dari jaringan distribusi sebelumnya akan mengalami perubahan yang cukup signifikan. Penempatan lokasi DG yang tidak sesuai akan berakibat tidak maksimalnya daya aktif yang dapat disalurkan. Oleh karena itu, perlu adanya suatu perencanaan sebelum menghubungkan DG pada jaringan distribusi.

Distributed Generation merupakan pembangkit listrik kecil (pada umumnya mulai dari beberapa kW hingga puluhan MW) yang bukan merupakan suatu bagian dari sistem pembangkit utama dan diletakkan di dekat beban. Penggunaan DG mengalami peningkatan karena peran pentingnya dalam suplai sistem tenaga listrik. Hal ini disebabkan oleh efisiensi tinggi, ukuran yang kecil, biaya investasi yang rendah, kemampuan modular, serta kedekatan dengan sumber energi yang dimiliki oleh DG [1].

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penempatan DG terhadap rugi-rugi daya dan keandalan jaringan distribusi dengan menggunakan *Genetic Algorithm* [2]. Pada tugas akhir ini, metode *Genetic Algorithm* digunakan untuk menentukan untuk menentukan lokasi DG yang akan diaplikasikan pada sistem IEEE 33 bus. Optimasi penentuan kapasitas dan lokasi DG dengan menggunakan konstrain tegangan bus, yaitu DG berkapasitas tertentu diletakkan pada bus tanpa melewati batas tegangan maksimum dan tegangan minimum bus tersebut. Pada penelitian lainnya [3], penempatan

DG dan rekonfigurasi jaringan yang dilakukan secara simultan mampu menurunkan rugi-rugi daya dan memperbaiki tegangan bus yang lebih baik. Skenario penempatan DG dan rekonfigurasi jaringan secara simultan menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan melakukan rekonfigurasi dan penempatan DG secara terpisah.

1.2. Permasalahan

1. Bagaimana lokasi penempatan *Distributed Generation* (DG) yang tepat untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG pada sistem distribusi radial tiga fasa menggunakan metode *Genetic Algorithm*?
2. Bagaimana rekonfigurasi jaringan dan lokasi penempatan *Distributed Generation* (DG) yang tepat untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG pada sistem distribusi radial tiga fasa menggunakan metode *Genetic Algorithm*?

1.3. Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut :

1. Fungsi obyektif dari optimisasi yang dilakukan adalah memaksimalkan keluaran daya aktif DG.
2. Kapasitas maksimal setiap DG yang digunakan sebesar 1 MW.
3. Penempatan DG menggunakan metode *genetic algorithm* (GA).
4. Simulasi menggunakan sistem distribusi IEEE 33 bus.
5. Simulasi menggunakan Matlab 2009a
6. Analisa dilakukan dalam kondisi steady state
7. Sistem dalam keadaan tiga fasa seimbang ($R = S = T$)
8. DG dalam kondisi ideal.
9. Faktor koordinasi dan sinkronisasi antar DG dan pada sistem diabaikan
10. Optimasi dibuat untuk tujuan perencanaan (desain) bukan untuk diterapkan secara on-line.

1.4. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah mengembangkan metode perencanaan dalam penentuan lokasi penempatan DG dan rekonfigurasi jaringan yang tepat untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG sehingga dapat memaksimalkan energi listrik yang disumbangkan oleh DG terhadap jaringan.

1.5. Metode Penelitian

Pada tugas akhir ini dibuat program untuk mendapatkan konfigurasi jaringan dan lokasi DG yang optimal menggunakan metode Genetic Algorithm (GA). Program dibuat dengan menggunakan software Matlab. Tahapan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah :

1. Studi literature
Literature yang digunakan berasal dari *paper*, jurnal dan *text book*. Dalam studi literature dipelajari teori – teori pendukung seperti Genetic Algorithm (GA) dan perancangan perangkat lunak menggunakan Matlab.
2. Pengumpulan data
Data yang digunakan meliputi data bus dan data saluran. Data bus terdiri atas data beban yang digunakan untuk mendapatkan nilai daya aktif dan daya reaktif pada setiap cabang. Data saluran terdiri atas resistansi dan reaktansi tiap kabel. Semua data tersebut digunakan untuk memperoleh data pengukuran sebenarnya menggunakan software matlab.
3. Pemodelan program
Pemodelan program dilakukan untuk mendapatkan model program dari optimasi rekonfigurasi jaringan dan penempatan *distributed generation* (DG). Pemodelan dimaksudkan untuk mengetahui konfigurasi jaringan dan lokasi penempatan DG paling optimal. Input berupa data power flow, power injection dan data saluran . Output berupa lokasi penempatan DG terbaik dengan daya aktif maksimal dan rekonfigurasi jaringan yang harus dilakukan.
4. Perancangan perangkat lunak
Perancangan perangkat lunak untuk memperoleh rekonfigurasi jaringan dan penempatan optimal *distributed generation* (DG). Perancangan perangkat lunak menggunakan Matlab.
5. Simulasi dan analisis
Simulasi dilakukan dengan menggunakan sistem distribusi IEEE 33 bus. Simulasi terdiri atas 2 program utama yaitu load flow aktif tiga fasa seimbang dan optimasi menggunakan *genetic algorithm* (GA). Optimasi digunakan untuk mengetahui konfigurasi jaringan dan penempatan DG terbaik untuk memperoleh keluaran daya aktif yang maksimal.

6. Penulisan buku

Hasil penelitian yang telah dilakukan dilaporkan dalam bentuk laporan tugas akhir dan paper. Laporan berisi metode dan kesimpulan dari penelitian.

1.6. Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini disusun dalam suatu sistematika sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan yang membahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, permasalahan, batas masalah, metode penelitian, sistematika penulisan dan relevansi dari Tugas Akhir.

Bab 2 : Dasar teori yang menjelaskan teori mengenai dasar sistem tenaga listrik dan analisa aliran daya

Bab 3 : Pembahasan teori K-Matrik dan Z_{br} yang digunakan pada proses aliran daya dan teori optimasi *Genetic Algorithm*.

Bab 4 : Hasil simulasi rekonfigurasi jaringan dan penempatan optimal *distributed generation* (DG) untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG pada sistem IEEE 33 bus.

Bab 5 : Kesimpulan Tugas Akhir yang mengemukakan hasil pembahasan dan saran-saran sehubungan dengan pokok-pokok pembahasan.

1.7. Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat berikut :

1. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan sistem kelistrikan, khususnya pada permasalahan yang terkait dalam kurangnya alat pengukuran dan penempatan sensor secara optimal pada sistem tenaga listrik.
2. Dapat meningkatkan penguasaan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) di bidang Sistem Tenaga listrik bagi pengusul Tugas Akhir.
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan mengambil Tugas Akhir yang mengambil masalah yang serupa.

BAB II

DG, SISTEM DISTRIBUSI, REKONFIGURASI JARINGAN DAN GA

2.1. Distributed Generation (DG)

Distributed Generation merupakan pembangkit tenaga listrik tersebar dengan kemampuan pembangkitan yang lebih kecil dibandingkan dengan pembangkit konvensional pada umumnya. Sehingga, penggunaan DG pada jaringan lebih diutamakan sebagai *supporting generation* untuk mendukung pembangkitan energi listrik dari pembangkit utama [1]. Di negara-negara Anglo-Amerika DG lebih dikenal dengan istilah *Embedded Generation*, Amerika Utara menggunakan istilah *Dispersed Generation*, sedangkan di Eropa dan sebagian Asia menggunakan istilah *Decentralized Generation* [2].

Definisi DG menurut beberapa ahli dan lembaga riset internasional masih terdapat perbedaan. Menurut DPCA (*Distributed Power Coalition of America*) DG adalah pembangkit listrik berskala kecil yang dengan lokasi yang lebih dekat pada sisi pelanggan daripada pembangkit utama, pembangkit ini dapat dihubungkan langsung pada sisi pelanggan atau terhubung pada jaringan transmisi atau distribusi terlebih dahulu. CIGRE (*International Conference on High Voltage Electric System*) mendefinisikan DG sebagai pembangkit yang tidak terpusat dan kebanyakan dihubungkan pada jaringan distribusi. IEA (*International Energy Agency*) mendefinisikan DG sebagai pembangkit yang melayani kebutuhan energi listrik pelanggan secara langsung atau berdekatan dengan lokasi pelanggan dan juga dapat berfungsi sebagai pendukung jaringan distribusi. Menurut Arthur D. Little DG dapat merupakan pembangkit yang terhubung pada jaringan atau pembangkit yang berdiri sendiri, pembangkit yang bersifat modular yang dapat memberikan keuntungan bagi pelanggan, sistem kelistrikan, atau keduanya [1].

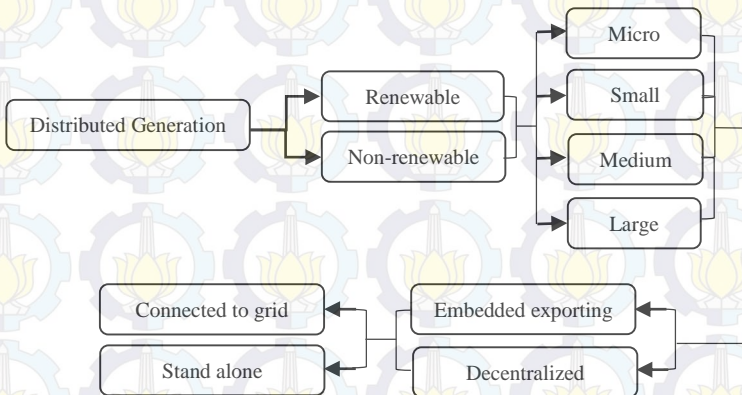
Definisi yang berbeda-beda dari beberapa sumber mungkin dikarenakan perbedaan latar belakang dan pengalaman. Untuk saat ini masih belum terdapat aturan pasti tentang definisi DG sehingga istilah DG masih sangat luas untuk dikembangkan pada sektor industri melalui penelitian yang berkelanjutan.

Selain banyaknya perbedaan pendapat tentang definisi DG, rentang kapasitas pembangkit yang dapat dikategorikan sebagai DG juga mengalami perbedaan, sehingga belum terdapat acuan yang pasti. Berikut

definisi kapasitas DG berdasarkan beberapa ahli dan lembaga riset internasional :

1. Gas Research Institute mendefinisikan DG sebagai pembangkit dengan kapasitas antara 25 kW hingga 25 MW [3].
2. Cardell mendefinisikan DG sebagai pembangkit dengan kapasitas antara 500 kW hingga 1 MW [4].
3. International Conference on Large High Voltage Electric Systems (CIGRE) mendefinisikan DG sebagai pembangkit dengan kapasitas antara 50 hingga 100 MW [5].
4. Sharma dan Bartels menentukan ukuran mulai dari beberapa kilowatt hingga lebih dari 100 MW [6].

Pemasangan DG pada jaringan sangat mempengaruhi perencanaan, operasi dan pengaturan jaringan distribusi tenaga listrik. Namun, batas kapasitas DG yang belum seragam, menyebabkan analisa penempatan DG pada jaringan lebih sulit untuk dilakukan. Hal ini dikarenakan kapasitas DG merupakan salah satu kunci penting dalam melakukan analisa penentuan lokasi yang tepat untuk pemasangan DG [7].



Gambar 2.1 Klasifikasi DG

Berdasarkan Gambar 2.1, DG dapat diklasifikasikan berdasarkan penggunaan sumber pembangkit, kapasitas pembangkit, lokasi pembangkit, dan konektivitas terhadap jaringan. Sumber energi yang digunakan oleh DG untuk membangkitkan energi listrik dapat berasal dari sumber energi terbarukan atau energi tak terbarukan. Energi terbarukan

yang sering digunakan pada DG meliputi *wind turbines*, *biomass*, *photovoltaics*, *geothermal*, *small hydro*, dan *tidal and wave* [8]. Lokasi DG dapat dibedakan menjadi dua yaitu, *embedded exporting* DG dan *decentralized* DG. *Embedded exporting* DG adalah pembangkit yang terpusat pada satu lokasi tertentu dan kebanyakan berlokasi jauh dari pelanggan. Sedangkan *decentralized* DG adalah pembangkit yang lokasinya tersebar namun dekat dengan pelanggan. Konektifitas DG pada jaringan adalah dapat berdiri sendiri (*stand alone*) dan terhubung pada jaringan (*connected to grid*) baik pada jaringan transmisi atau distribusi. Sedangkan untuk kapasitas pembangkit, skala kapasitas pembangkit dapat diklasifikasikan seperti pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi DG berdasarkan Kapasitas Pembangkit

Jenis DG	Kapasitas Pembangkit
Micro DG (DG Mikro)	1 Watt – 5 kW
Small DG (DG Kecil)	5 kW – 5 MW
Medium DG (DG Sedang)	5 MW – 50 MW
Large DG (DG Besar)	50 MW – 300 MW

Penempatan dan kapasitas DG yang sesuai mampu memberikan dampak positif pada jaringan atau secara umum disebut “*system support benefit*”. Dampak tersebut meliputi kestabilan tegangan, mengurangi rugi-rugi, meningkatkan kapasitas jaringan transmisi dan distribusi, meningkatkan keandalan sistem dan kualitas daya [9].

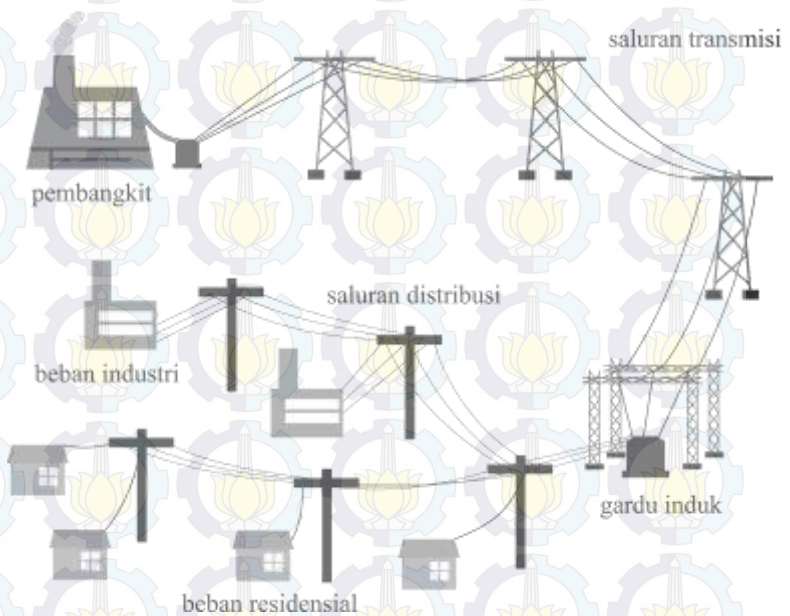
Kedepan, integrasi penggunaan DG pada jaringan distribusi dapat memegang peran penting dalam pembangunan jaringan yang aktif, fleksibel dan memfasilitasi penggunaan sumber energi terbarukan untuk mengurangi dampak emisi rumah kaca.

2.2. Sistem distribusi

Pusat pembangkitan energi listrik umumnya berlokasi terpusat sehingga jauh dari pusat beban. Energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit selanjutnya disalurkan menuju pelanggan melalui jaringan transmisi dan jaringan distribusi. Jaringan transmisi berfungsi untuk menghubungkan semua pusat pembangkit dan pusat beban utama. Jaringan transmisi pada suatu sistem tenaga listrik yang terinterkoneksi

beroperasi pada level tegangan tinggi antara 150 kV hingga 500 kV. Pada tahapan selanjutnya, jaringan distribusi merupakan tahap akhir dari penyaluran energi listrik menuju pelanggan.

Tegangan pada jaringan distribusi dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian besar, yaitu distribusi primer dengan tegangan 20 kV dan distribusi sekunder dengan tegangan 380/220 V. Jaringan distribusi dengan level tegangan 20 kV sering disebut sebagai sistem distribusi tegangan menengah. Sedangkan jaringan distribusi dengan level tegangan 380/220 V disebut sebagai jaringan distribusi sekunder atau jaringan tegangan rendah.



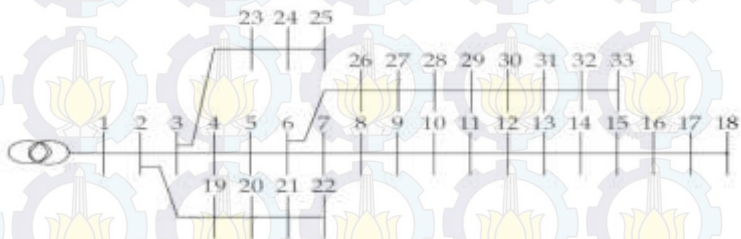
Gambar 2.2 Penyaluran daya listrik

Jaringan distribusi memiliki jalur yang menyebar dan berkeluk menyesuaikan lokasi pelanggan. Umumnya saluran distribusi merupakan saluran 3 fasa dengan lajur yang sama. Sehingga saluran per fasa yang disalurkan ke beban bermula dari transformator distribusi. Adanya perbedaan beban yang ditanggung oleh masing-masing fasa diatur dengan

proporsi beban yang dibagi-bagi sedemikian rupa sehingga sistem tiga fasa tetap dalam kondisi seimbang.

2.2.1 Jaringan distribusi radial

Jaringan distribusi radial adalah sistem jaringan distribusi yang paling sederhana dan ekonomis sehingga bentuk jaringan ini lebih sering diaplikasikan. Jaringan distribusi radial dibentuk dari sebuah saluran saluran yang ditarik secara radial dari suatu sumber tertentu dan kemudian dibagi menuju beberapa cabang sesuai dengan pembagian beban yang telah direncanakan.



Gambar 2.3 IEEE 33 Bus radial distribution system

Pada jaringan distribusi radial seperti gambar 2.3, sebuah sumber atau pembangkit disalurkan menuju beberapa titik beban melalui sebuah saluran utama. Melalui saluran utama inilah kemudian ditarik kembali beberapa cabang melalui beberapa bus sebagai percabangan. Ketika terjadi gangguan pada suatu area, maka gangguan tersebut juga akan berdampak pada area dibelakangnya. Semakin dekat area gangguan terhadap sumber pembangkit, semakin besar jumlah area yang akan ikut mengalami gangguan.

Terdapat perbedaan arus beban yang mengalir pada setiap saluran. Hal ini menyebabkan penggunaan konduktor dengan luas penampang yang berbeda-beda. Semakin dekat suatu saluran dengan sumber pembangkit, arus beban akan semakin besar sehingga membutuhkan konduktor dengan luas penampang yang lebih besar dengan asumsi penggunaan bahan dan jenis konduktor untuk setiap saluran adalah sama.

Kekurangan jaringan distribusi radial adalah kualitas pelayanan daya dan kontinuitas pelayanan yang kurang baik. Kualitas daya yang kurang baik disebabkan oleh rugi-rugi tegangan dan daya yang relatif besar. Hal tersebut dipengaruhi oleh besaran nilai impedansi dan arus

yang melewati saluran. Kontinuitas pelayanan yang kurang baik disebabkan karena jaringan distribusi radial hanya memiliki satu alternatif saluran yang dapat menghubungkan pembangkit dengan beban yang ditanggung. Hal ini menyebabkan ketika terjadi gangguan pada suatu area, maka area sesudahnya juga akan menanggung gangguan yang terjadi.

2.3. Rekonfigurasi jaringan

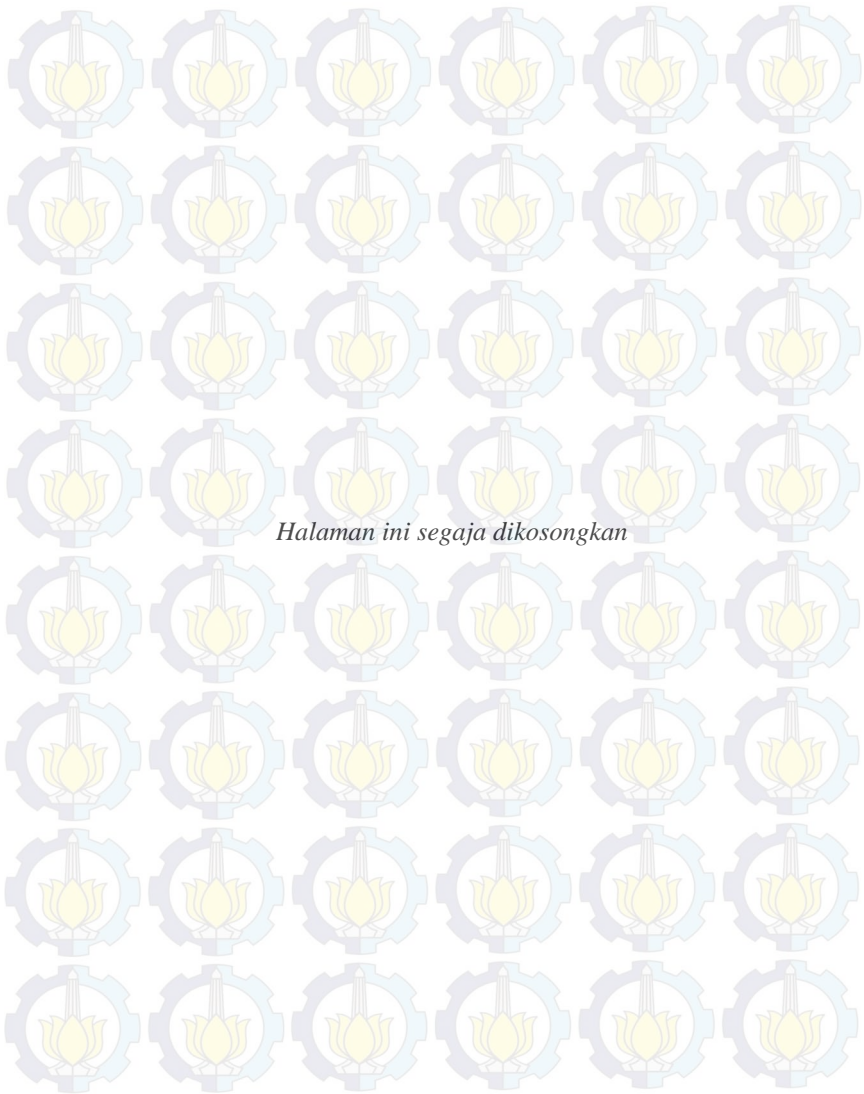
Dalam jaringan distribusi, kualitas penyaluran energi listrik harus terjaga dengan baik. Apabila terjadi kendala maka perlu dilakukan suatu tindakan yang secara cepat dapat mengatasi masalah tersebut. Kendala yang sering terjadi dalam jaringan distribusi dapat mengakibatkan kontinuitas penyaluran energi listrik terganggu karena daya listrik yang hilang cukup besar. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu tindakan untuk mengurangi rugi – rugi daya yang terjadi dalam proses penyaluran energi listrik pada jaringan distribusi. Salah satu caranya adalah dengan mengatur ulang konfigurasi jaringan tersebut.

Pada dasarnya, rekonfigurasi jaringan merupakan permasalahan mengenai optimasi kombinatorial dimana kemungkinan kombinasi terbaik dengan mengatur status (open/close) dari sectionalizing dan tie switch yang harus ditemukan sehingga fungsi tujuan dapat diminimalkan. Tujuan umum dilakukannya rekonfigurasi jaringan adalah untuk mengurangi rugi daya dan mengurangi deviasi tegangan. Konfigurasi ulang jaringan memungkinkan sistem untuk melayani beban yang sama untuk memperoleh beban dengan kerugian daya yang lebih sedikit dalam sistem. Hal ini juga dapat menurunkan kelebihan beban dalam jaringan dan mencegah adanya ketidakseimbangan beban. Konfigurasi ulang jaringan adalah cara yang efektif untuk meningkatkan kualitas daya dalam sistem dan meningkatkan keandalan tegangan listrik di sisi pengguna. Jaringan distribusi listrik dibangun sebagai jaringan yang saling berhubungan dan menyatu. Namun, jaringan tersebut diatur untuk beroperasi menjadi radial. Konfigurasi tersebut dapat bervariasi dengan operasi switching manual atau otomatis sehingga semua beban dapat terlayani dan dapat mengurangi daya yang hilang.

Secara umum, konfigurasi ulang jaringan adalah masalah optimasi nonlinier multi-objektif. Karena pada kenyataannya, sectionalizing switch dalam jaringan distribusi memiliki jumlah yang sangat banyak, sebagian besar metode yang digunakan untuk melakukan rekonfigurasi

jaringan ini adalah menggunakan metode pendekatan berdasarkan teori evolusi atau heuristik.

Dalam kondisi operasi normal, rekonfigurasi jaringan dilakukan untuk mengurangi rugi – rugi daya dan mendapatkan pembebanan yang seimbang untuk mencegah terjadinya kelebihan beban atau ketidakseimbangan beban pada jaringan. Pada tugas akhir ini, rekonfigurasi jaringan dilakukan secara simultan dengan penempatan DG untuk memperoleh rugi daya terkecil pada sistem distribusi radial tiga fasa.



BAB 3

ALIRAN DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL DAN PROSES OPTIMASI MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

3.1 Aliran Daya pada Sistem Distribusi Radial

Sistem distribusi radial memiliki bus sisi kirim dan sisi terima (bus i dan j) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Garis yang menghubungkan dua segmen ini memiliki impedansi ($Z = r + jx$). Aliran daya di bus i ($S_i = P_i + jQ_i$) berbeda dengan bus j ($S_j = P_j + jQ_j$). Begitu juga dengan besar tegangan dan sudut fase yang terkait dengan setiap bus (V_i, δ_i, V_j and δ_j). Algoritma aliran daya menyelesaikan persamaan keseimbangan tegangan di setiap bus dan untuk mendapatkan tegangan yang sesuai. Pada bus beban (PQ bus), tegangan bus dan sudut fasanya dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_j^2 = -[rP_j + xQ_j - V_i^2/2]^2 + (-[rP_j + xQ_j - V_i^2/2]^2 - [r^2 + x^2][P_j^2 + Q_j^2])^{(1/2)} \quad (3.1)$$

$$\delta_j = \delta_i - \sin^{-1}[xP_j - rQ_j]/[V_i V_j] \quad (3.2)$$

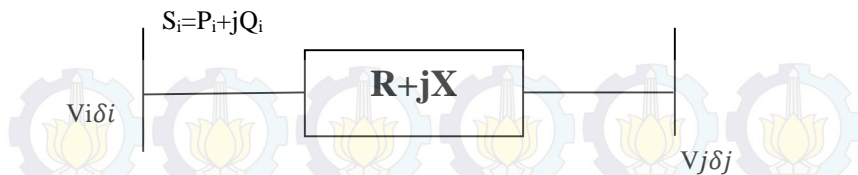
Untuk bus generator (PV bus), daya reaktif dan sudut fase bus diselesaikan dengan algoritma aliran daya yang sama. Sedangkan rugi daya nyata dan reaktif dapat dihitung

$$P_{\text{loss-ij}} = r (P_i^2 + Q_i^2)/V_j^2 \quad (3.3)$$

$$Q_{\text{loss-ij}} = x (P_i^2 + Q_i^2)/V_j^2 \quad (3.4)$$

Sebelum tegangan fase sudut bus sisi kirim dihitung, perhitungan nilai dari daya reaktif pada bus sisi terima adalah

$$Q_j = -2 V_j^2 x + ((2 V_j^2 x)^2 - 4 (r^2 + x^2) (V_j^4 V_i^2 V_j^2 + (r^2 + x^2) P_j^2 + 2 V_j^2 P_j^r))^{(1/2)} / 2 (r^2 + x^2) \quad (3.5)$$



Gambar 3.1 Ilustrasi jaringan

Proses penyelesaian aliran daya pada sistem distribusi radial ini menggunakan metode K-Matrik dan Z_{BR} . Metode ini digunakan untuk melakukan perhitungan aliran daya yang cepat pada RDS sehingga dapat digunakan melakukan analisa dan optimasi, khususnya agar dapat mengakomodir sistem tiga fasa dalam keadaan tidak seimbang. Selain itu, perlu adanya rekayasa perhitungan secara matematik menggunakan beberapa cara kalkulasi dan pemodelan sistem.

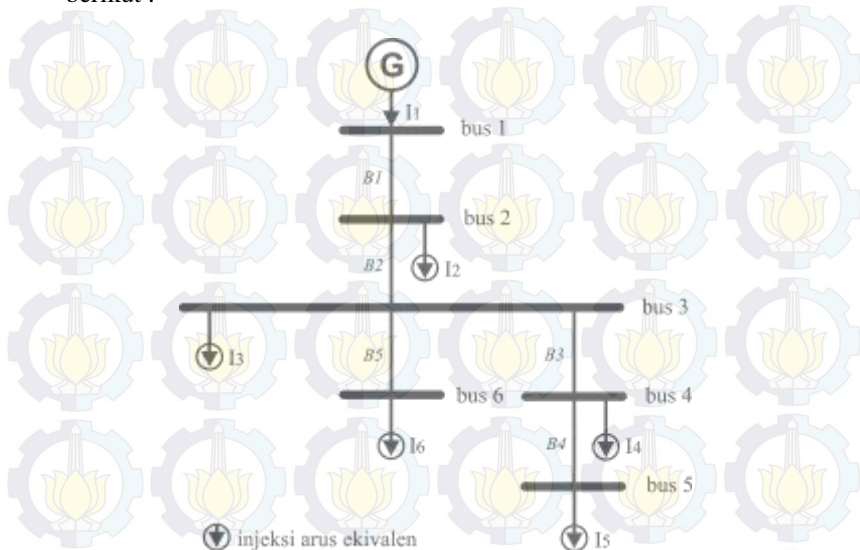
3.2 Metode K-Matrik dan Z_{BR}

Dalam perkembangan analisis aliran daya pada sistem distribusi menggunakan metode *forward-backward*, terdapat beberapa pengembangan yang telah dilakukan untuk menambah kekakuratan, kemudahan dan kecepatan perhitungan analisis. Sehingga hasil nilai yang didapatkan dapat digunakan untuk melakukan analisa dan optimasi.

3.2.1 Metode Z_{BR}

Untuk melakukan analisis aliran daya sistem distribusi dengan sistem yang kompleks menggunakan metode *forward-backward*, diperlukan modifikasi perhitungan untuk memudahkan proses iterasi dan membentuk persamaan. Salah satu metode yang dikembangkan adalah metode Z_{BR} . Metode Z_{BR} adalah metode yang digunakan untuk membentuk persamaan aliran daya dengan menyusun impedansi saluran distribusi radial dalam suatu matrik untuk menghitung drop tegangan. Sebelum membentuk matrik Z_{BR} , digunakan metode *network topology* untuk mendapatkan persamaan analisis aliran daya. Maka dari analisis ini didapatkan nilai yang diperlukan dalam perhitungan. Beberapa hasil perhitungan yang diperlukan adalah tegangan, arus, dan rugi daya. Setelah itu bisa dilakukan optimasi sesuai yang diinginkan dari hasil penelitian ini

Salah satu contoh pembentukan persamaan aliran daya adalah sebagai berikut :



Gambar 3.3 Single line diagram contoh analisis menggunakan metode *network topology*

Sebuah sistem distribusi sederhana dengan model rangkaian radial murni disuplai dari satu sumber pada *infinite bus* menyuplai beban yang tersebar dengan jalur tertentu. Maka didapatkan persamaan sederhana sebagai berikut :

$$B_5 = I_6$$

$$B_4 = I_5$$

$$B_3 = I_4 + I_5$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

Persamaan injeksi arus ke bus di atas dapat diringkas perhitungan selanjutnya dengan menggunakan matrik.

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix}$$

Persamaan matrik di atas dapat dirumuskan menjadi model persamaan dengan komponen matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*).

$$[B] = [BIBC][I]$$

Kemudian dibentuk persamaan untuk mencari nilai drop tegangan berdasarkan jalur injeksi arusnya.

$$V_2 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12}$$

$$V_3 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23}$$

$$V_4 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34}$$

$$V_5 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45}$$

$$V_6 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} - B_5 \cdot Z_{26}$$

Maka drop tegangan dapat dihitung menjadi sebagai berikut :

$$V_1 - V_2 = B_1 \cdot Z_{12}$$

$$V_1 - V_3 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23}$$

$$V_1 - V_4 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34}$$

$$V_1 - V_5 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45}$$

$$V_1 - V_6 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} - B_5 \cdot Z_{26}$$

Persamaan di atas dapat dibentuk dan diselesaikan menggunakan suatu bentuk matrik dengan komponen matrik BCBV (*Branch Current to Branch Voltage*).

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix}$$

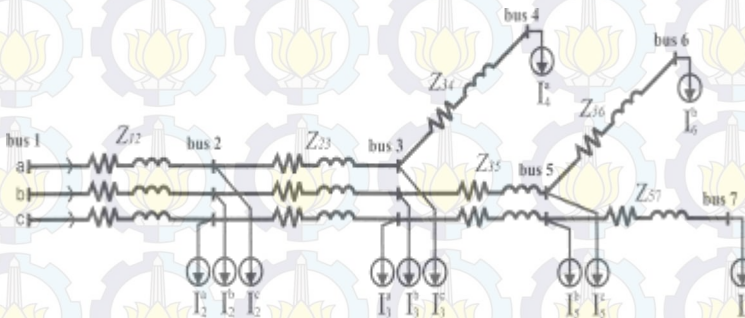
$$[\Delta V] = [BCBV][B]$$

Sehingga, untuk mendapatkan nilai ΔV didapatkan persamaan akhir sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I]$$

$$[\Delta V] = [DLF][I]$$

Untuk melakukan analisis aliran daya tiga fasa, persamaan disusun dengan langkah-langkah yang sama. Untuk metode Z_{BR} , cara menghitung drop tegangan dilakukan per fasa dengan mengubah dimensi matrik menjadi 3 kali lipat karena digunakan untuk menghitung 3 rangkaian fasa. Matrik Z_{BR} merupakan matrik yang merepresentasikan impedansi saluran tiga fasa yang dibentuk dengan menelusuri jalur arus mengalir ke beban dan dikonversikan ke dalam matrik sesuai dengan nilai impedansi.



Gambar 3.4 Contoh rangkaian 3 fasa untuk membentuk matrik Z_{br}

Dari contoh rangkaian 3 fasa di atas, dapat dibentuk matrik untuk menghitung injeksi arus menggunakan matrik BCBV.

$$Z_{BR} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} & 0 & 0 & 0 \\ \begin{bmatrix} Z_b & 0 \\ 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_b & 0 \\ 0 & Z_c \end{bmatrix} & 0 & \begin{bmatrix} Z_b & 0 \\ 0 & Z_c \end{bmatrix} & 0 & 0 \\ \begin{bmatrix} Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} & 0 & \begin{bmatrix} Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} & 0 \\ \begin{bmatrix} Z_c \\ Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_c \\ Z_c \end{bmatrix} & 0 & \begin{bmatrix} Z_c \\ Z_c \end{bmatrix} & 0 & \begin{bmatrix} Z_c \\ Z_c \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

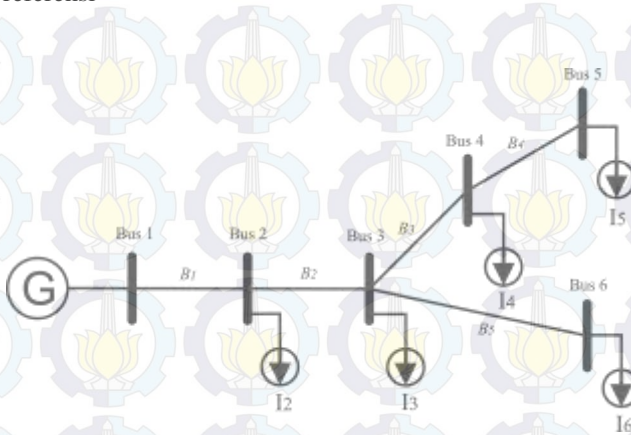
3.2.2 Metode K-matrik

Analisis aliran daya pada sistem distribusi menggunakan metode *forward-backward* memiliki keefektifan dalam menghitung nilai tegangan pada tiap bus. Namun, apabila diterapkan dalam sistem yang kompleks dan rumit dibutuhkan metode pengembangan lebih lanjut. Metode Z_{BR} merupakan metode pengembangan yang dapat memudahkan analisis untuk melakukan studi aliran daya. Dengan menyederhanakan pembentukan matrik impedansi saluran distribusi dapat mempercepat perhitungan studi aliran daya. Namun apabila metode Z_{BR} digunakan untuk melakukan analisis aliran daya pada sistem tiga fasa, diperlukan satu matrik yang digunakan untuk mendefinisikan jalur saluran tiga fasa. Misalkan dalam satu bus hanya terdapat dua fasa atau hanya satu fasa diperlukan pendefinisian manakah fasa yang hilang dalam bus tersebut.

Metode K-matrik merupakan metode pembentukan matrik impedansi dengan melakukan penelusuran alur/*path* saluran distribusi. Jalur saluran distribusi direpresentasikan dalam sebuah matrik yang menunjukkan arah arus injeksi dari suatu bus ke bus yang lain. Gambar di bawah adalah single line diagram untuk sistem yang sama dengan contoh single line diagram pada analisis aliran daya menggunakan metode Z_{BR} . Untuk membentuk K-matrik digunakan aturan penelusuran jalur.

- $kij = 1$, jika cabang i berada pada jalur antara bus j dan bus referensi dan memiliki arah yang sama
- $kij = -1$, jika cabang i berada pada jalur antara bus j dan bus referensi dan memiliki arah yang berlawanan

- $kij = 0$, jika cabang i tidak berada pada jalur antara bus j dan bus referensi



Gambar 3.5 Single line diagram contoh analisis menggunakan metode K-matrik

Maka untuk contoh single line diagram di atas, K-matrik-nya adalah :

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{ccccc}
 & \text{bus2} & \text{bus3} & \text{bus4} & \text{bus5} & \text{bus6} \\
 \begin{array}{l} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{array} & \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}
 \end{array}
 \end{array}$$

Pada contoh sebelumnya, dapat disimpulkan persamaan menghitung drop tegangan.

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I]$$

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix}$$

Apabila kita amati bentuk dan komposisi dari matrik BIBC, terdapat persamaan komposisi matrik. Matrik BIBC memiliki komponen yang nilainya berlawanan dengan setiap komponen K-matrik. Sehingga dapat dirumuskan hubungan antara K-matrik dan BIBC sebagai berikut ;

$$[BIBC] = -[K - \text{matrik}]$$

Sedangkan bila matrik BIBC kita transpose komposisinya maka akan terbentuk matrik yang berkorelasi dengan matrik BCBV.

$$BIBC' = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Apabila matrik BIBC' dikalikan per komponen (perkalian dot) dengan matrik impedansi *full branch*, maka akan didapatkan matrik BCBV.

$$BCBV = -[K - \text{matrik}]' \cdot [ZF_{BR}]$$

$$BCBV = - \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}' \cdot \begin{bmatrix} Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \end{bmatrix}$$

Sehingga, untuk metode K-matrik dapat disimpulkan formula mencari drop tegangan di tiap saluran.

$$[\Delta V] = -[K] \times -[K]' \cdot [ZF_{BR}] \times [$$

3.3 GA untuk Memaksimalkan Daya Aktif DG

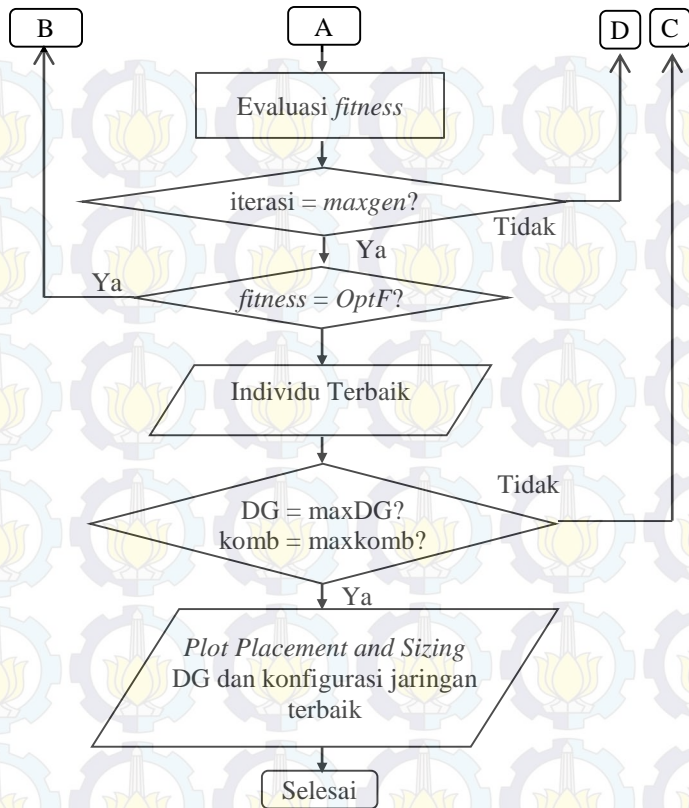
Tujuan GA dalam tugas akhir ini adalah untuk menemukan rekonfigurasi jaringan dan lokasi pemasangan DG yang tepat agar daya aktif yang dikeluarkan oleh DG dapat maksimal. Artinya, GA

```

graph TD
    Start([Mulai]) --> Read[/Baca data DG, kombinasi saluran, Bus dan Parameter GA/]
    Read --> Init[DG = 1 & komb = 1]
    Init --> InitPop[Membangkitkan Populasi Awal  
Kromosom = Rating, Lokasi DG]
    InitPop --> Config[Konfigurasi kromosom]
    Config --> Run[running loadflow]
    Run --> A([A])
    A --> B([B])
    B --> InitPop
    A --> C([C])
    C --> Update[DG=DG+1 & komb=komb+1]
    Update --> Init
    Update --> OptList
    subgraph OptList [ ]
        direction TB
        1[1. Roulette Wheel Selection]
        2[2. Elitism]
        3[3. Crossover]
        4[4. Binary Mutation]
        5[5. Reproduction (D)]
    end
    OptList --> Update

```

Gambar 3.6 Diagram alir proses optimasi



Gambar 3.7 Diagram alir proses optimasi (lanjutan)

Secara garis besar, diagram alir tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

Variabel awal dan input data diperlukan untuk memulai algoritma GA. Data yang harus didefinikan antara lain :

1. Inisialisasi berupa populasi dari kumpulan individu yang dibangkitkan secara acak, dalam populasi tersebut berisi jumlah kromosom yang akan dipakai pada GA.
2. Evaluasi kebugaran atau evaluasi setiap individu $f(x)$ dari masing-masing kromosom x dalam populasi.

3. Membuat populasi baru dengan mengulangi langkah-langkah berikut sampai populasi baru selesai.

- [a] [Seleksi] Pilih dua kromosom induk dari populasi sesuai dengan kebugaran mereka (baik kebugaran, semakin besar kesempatan untuk dipilih).
 - [b] [Crossover] Dengan probabilitas crossover, induk crossover membentuk keturunan baru (anak-anak). Jika tidak ada crossover dilakukan, keturunan adalah Salinan dari orang tua.
 - [c] [Mutasi] Dengan probabilitas mutasi, bermutasi keturunan baru pada setiap lokus (posisi dalam kromosom).
 - [d] [Reproduksi] Menempatkan keturunan baru pada populasi baru.
4. Gunakan populasi yang dihasilkan individu baru untuk menjalankan proses selanjutnya.
5. Jika kondisi akhir terpenuhi, berhenti, dan kembali solusi terbaik dalam populasi saat ini.
6. Lanjut ke langkah 2.

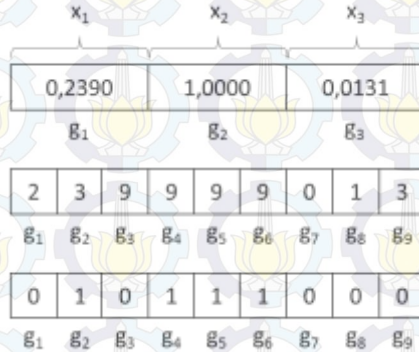
3.3.1. Pengkodean Kromosom

Pengkodean dilakukan untuk membentuk membentuk individu awal. Individu merupakan kumpulan gen dalam sistem algoritma genetik bisa dikatakan sama dengan kromosom. Gen ini bisa berbentuk *biner*, *float*, ataupun kombinatorial. Individu dalam algoritma genetik dapat juga menyatakan salah satu kemungkinan solusi yang dicari [10].

Terdapat tiga tipe pengkodean gen yang paling umum digunakan, yaitu:

- a. Tipe I (*Real-Number Encoding*)
Pada skema pengkodean ini, nilai gen berada pada interval $[0, R]$, dimana R adalah bilangan *real* positif dan biasanya $R = 1$.
- b. Tipe II (*Discrete Desimal Encoding*)
Setiap gen bisa memiliki nilai salah satu bilangan bulat dalam interval $0 - 9$.
- c. Tipe III (*Binary Encoding*)
Setiap gen hanya bisa bernilai 0 atau 1.

Jadi dari hal tersebut dapat disimpulkan bahwa secara umum gen dapat direpresentasikan dalam bentuk bilangan biner (*binary encoding*), bilangan *real* atau *float* (*real or float encoding*), maupun bilangan desimal (*discrete decimal encoding*).



Gambar 3.8 Jenis skema pengkodean [10]

Pada Gambar 3.9, x_1 , x_2 , dan x_3 merupakan variabel yang akan dikodekan kedalam sebuah kromosom yang terdiri dari 3 gen untuk tipe I, 9 gen untuk tipe II dan 9 gen untuk tipe III. Pada tipe II dan tipe III masing variabel dikodekan ke dalam 3 gen. Pada tipe I, sebuah gen g digunakan untuk mempresentasikan suatu bilangan real antara 0 sampai 1. Dengan menggunakan suatu interval tertentu, batas bawah r_b dan batas atas r_a , pengkodean dapat dilakukan dengan cara:

$$x = r_b + g(r_a - r_b) \quad (2.1)$$

Sedangkan pendekodean untuk tipe II adalah:

$$x = r_b + (r_a - r_b)(g_1 \times 10^{-1} + g_2 \times 10^{-2} + \dots + g_N \times 10^{-N}) \quad (2.2)$$

Dan prosedur pendekodean untuk tipe III adalah:

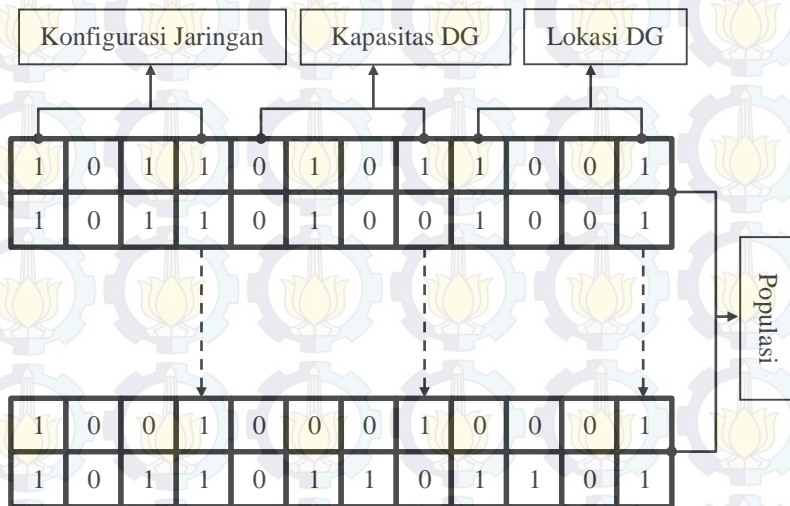
$$x = r_b + (r_a - r_b)(g_1 \times 2^{-1} + g_2 \times 2^{-2} + \dots + g_N \times 2^{-N}) \quad (2.3)$$

Dengan N adalah jumlah gen dalam kromosom atau yang dalam penggunaan algoritma pemrograman dalam bahasa sehari-hari disebut sebagai panjang kromosom.

Setiap unit DG diwakili oleh S string biner dari 8 bit gen dalam satu kromosom. Keempat bit awal mewakili kapasitas unit DG, sedangkan 4 bit sisanya mewakili daya keluaran DG. Sesuai dengan

rating daya keluaran ICE, maka daya keluaran yang mampu dihasilkan adalah antara 1 – 10 MW. Sedangkan lokasi penempatan DG dikodekan menurut jumlah bus sistem yang digunakan. Setiap bus diwakili oleh *L string biner* dari 4 bit untuk 14 bus dan 5 bit untuk 30 bus.

Pembentukan kromosom dilakukan dengan menggabungkan *string S* dan *L* menjadi satu *array gen* individu yang terdiri dari 12 *bit* (untuk sistem 14 bus) dan 13 *bit* (untuk sistem 30 bus). Nilai masing-masing elemen kromosom (*gen*) dibangkitkan secara acak menggunakan *software* MATLAB 2009a. Sehingga diperoleh ilustrasi representasi kromosom seperti gambar berikut.



Gambar 3.9 Populasi awal DG dalam GA

3.3.2. Pembangkitan Populasi Awal

Unit DG yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan standar yang dimiliki oleh *Electric Power Research Institute* (EPRI), yaitu DG dengan kapasitas 1 – 10 MW. Sehingga nilai *biner* yang akan dikodekan dalam proses selanjutnya akan dikembalikan dalam nilai MW pembangkitan DG sesuai dengan standarisasi yang telah

disepakati tersebut. Beberapa parameter yang digunakan untuk membangkitkan populasi awal adalah:

1. n_{DG} : Jumlah pembangkit tersebar (DG)
2. n_{Bit} : Jumlah *gen* dalam satu unit DG
3. n_{Gen} : Jumlah *gen* dalam satu individu atau kromosom
4. u_{pop} : Jumlah individu dalam populasi
5. n_{Bus} : Jumlah bus sistem yang digunakan

Kromosom dibentuk berdasarkan aturan pengkodean seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya. Pembentukan kromosom dilakukan dengan menggabungkan *string S* dan *L* menjadi satu *array gen* individu yang terdiri dari 12 *bit* (untuk sistem 14 bus) dan 13 *bit* (untuk sistem 30 bus). Nilai masing-masing elemen kromosom (*gen*) dibangkitkan secara acak menggunakan *software* MATLAB 2009a.

Bagian pertama merupakan jenis daya unit DG yang dapat diinjeksikan ke sistem seperti yang telah dibahas sebelumnya dan bagian kedua berisi kode daya keluaran DG dalam batas-batas yang telah didefinisikan, sedangkan bagian ketiga merupakan representasi lokasi penempatan DG, yaitu mulai dari nomor bus terkecil (bus pertama) hingga nomor bus yang paling besar (bus terakhir). Untuk memperoleh semua populasi awal yang dibutuhkan, operasi diatas diulang sebanyak n_{Ind} kali. Gambar 3.8 memperlihatkan visualisasi dari seluruh populasi yang akan dibangkitkan.

3.3.3. Evaluasi Individu

Perhitungan *fitness* masing-masing individu dilakukan berdasar-kan fungsi-fungsi tujuan yang ingin dicapai dalam penempatan dan penentuan kapasitas optimal DG ini. Seperti yang telah dibahas dalam subbab sebelumnya, ada dua fungsi tujuan yang akan dievaluasi untuk setiap individu, yaitu penghematan BBM (fungsi *FSDG*) dan cadangan berputar atau *spinning reserve* (fungsi *SRDG*). Setiap individu akan menghasilkan nilai *fitness* yang berbeda. Individu dengan nilai *fitness* masing-masing ini akan digabungkan dalam satu *array* dan diurutkan menurut aturan *non-domination sorting* dan *crowding distance* sehingga didapatkan individu-individu dengan peringkat yang terbaik hingga peringkat terburuk untuk proses seleksi.

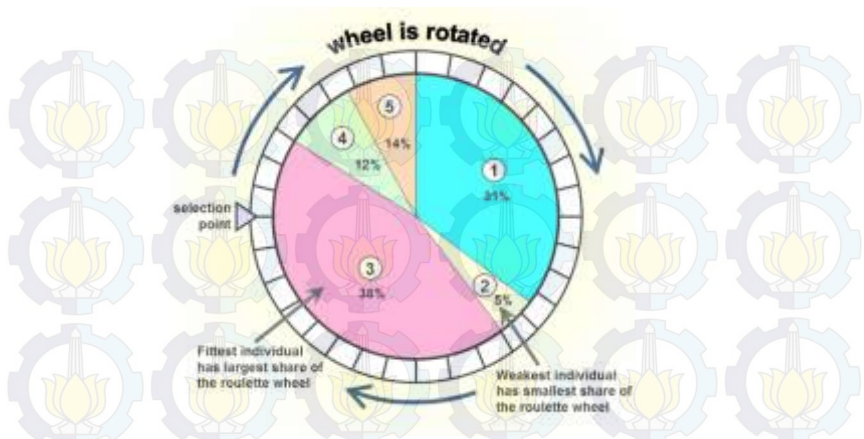
3.3.4. Seleksi Menggunakan *Roulet Wheel*

Seleksi dilakukan untuk memberikan kesempatan reproduksi yang lebih baik bagi individu yang paling baik (berada pada *front* pertama dengan *crowding distance* terbesar). Seleksi akan menentukan individu-individu mana saja yang akan terpilih untuk melakukan pindah silang (*crossover*) dan bagaimana anak (*offspring*) akan terbentuk dari individu-individu yang terpilih tersebut.

Langkah pertama yang dilakukan pada seleksi ini adalah pencarian semua individu yang berada pada *front* pertama. Pada GA, seleksi hanya dilakukan untuk individu-individu tersebut (kumpulan individu yang merupakan solusi utama). Kemudian, masing-masing individu dalam suatu wadah seleksi akan menerima probabilitas reproduksi sesuai dengan nilai objektif individu tersebut, yang dapat dibandingkan dengan melihat nilai *crowding distance* antar individu dalam *front* pertama. Nilai *crowding distance* setiap individu akan dibandingkan dengan nilai *crowding distance* dari semua individu dalam wadah seleksi tersebut.

Dari beberapa metode seleksi yang ada, pada penelitian ini digunakan metode seleksi *roulette wheel* yang merupakan metode seleksi yang paling sederhana. Metode ini menirukan permainan roda *roulette*, masing-masing kromosom menempati potongan lingkaran pada roda rolet secara proporsional sesuai dengan nilai perbandingan *crowding distance* tersebut. Kromosom yang memiliki nilai lebih besar menempati potongan lingkaran yang lebih besar dibandingkan dengan kromosom yang memiliki lebih rendah. Sehingga kemungkinan akan ada kromosom yang terpilih lebih dari satu kali. Kromosom yang terbaik akan mampu untuk berkembang lebih banyak lagi, sedangkan kromosom yang jelek akan mati.

Algoritma seleksi menggunakan dalam roda *roulette* dapat dilakukan dengan menentukan interval nilai kumulatif *crowding distance* dari masing-masing individu, dibagi nilai total *crowding distance* dari semua individu dalam *front* pertama pada interval tersebut. Kromosom akan terpilih jika bilangan *random* yang dibangkitkan berada dalam interval kumulatifnya.



Gambar 3.10 Metode seleksi dengan *Roulette Wheel*

Kromosom – kromosom yang bagus tersebut akan diseleksi untuk menjadi satu pasang orang tua. Setelah terseleksi maka kromosom yang terpilih menjadi orang tua akan melanjutkan proses pindah silang. Pada metode AG standar kromosom yang tidak terpilih akan dibuang dari proses pencarian solusi sedangkan pada metode GA kromosom yang gagal terpilih akan disimpan untuk mengikuti proses pencarian solusi generasi selanjutnya.

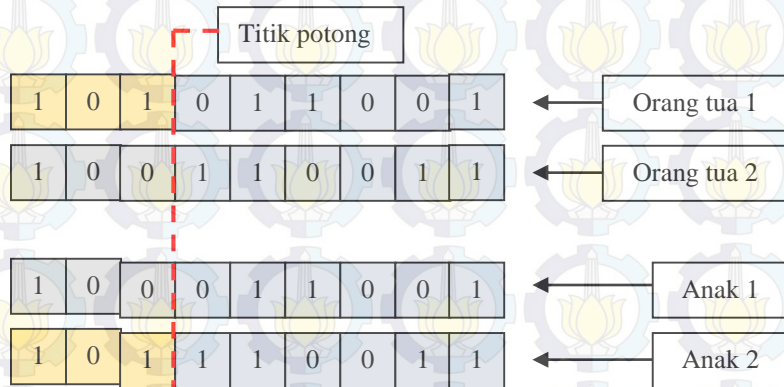
3.3.5. Pindah Silang

Pindah silang (*crossover*) merupakan operator genetik yang paling utama dalam pembentukan individu baru. Tujuan utama pindah silang adalah untuk mengatur ulang informasi dari dua individu yang berbeda dan membuat individu baru. Dalam penelitian ini, metode pindah silang yang digunakan adalah *one-point crossover*, yaitu pindah silang titik potong tunggal. Metode ini dipilih karena panjang kromosom yang akan mengalami pindah silang tidak terlalu besar. Pemilihan titik potong dilakukan secara random dan probabilitas pindah silang yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,9.

Mekanisme pindah silang melibatkan dua individu yang telah teruji nilai *fitness*-nya dan telah berhasil melewati proses seleksi. Sebuah kromosom yang mengarah pada solusi yang bagus

bisa diperoleh dari proses pindah silang antara dua buah kromosom. Kromosom-kromosom dengan kondisi yang baik tersebut melakukan pertukaran gen sehingga dimungkinkan terbentuk individu baru yang lebih baik.

Proses pindah silang secara sederhana hanya merupakan pertukaran gen antara dua kromosom induk, untuk lebih jelasnya, perhatikan contoh gambar dibawah ini.



Gambar 3.11 Mekanisme pindah silang

Pindah silang bisa juga berakibat buruk jika ukuran populasinya sangat kecil. Dalam suatu populasi yang sangat kecil, suatu kromosom dengan gen-gen yang mengarah ke solusi akan sangat cepat menyebar ke kromosom-kromosom lainnya. Untuk mengatasi masalah ini digunakan suatu aturan bahwa pindah silang hanya bisa dilakukan dengan suatu probabilitas tertentu P_c . Artinya pindah silang bisa dilakukan hanya jika suatu bilangan *random* (0,1) yang dibangkitkan kurang dari nilai P_c yang ditentukan. Pada umumnya, nilai P_c diatur mendekati 1, misalnya 0,8.

3.3.6. Mutasi

Mutasi dilakukan dengan mengubah gen yang terpilih secara acak dengan nilai baru. Pada *binary encoding*, nilai yang baru tersebut adalah nilai kebalikan dari gen yang terpilih, misalnya nilai 0 diubah menjadi 1 atau sebaliknya. Pada *float encoding*, mutasi dilakukan

dengan berbagai metode, misalnya pada *uniform mutation*, pergantian gen dilakukan dengan membangkitkan bilangan random (*uniform probability distribution*) dalam rentang nilai maksimum dan minimum dari gen yang akan digantikan. Hal yang berbeda dilakukan pada mutasi tak seragam (*nonuniform mutation*), penggantian gen dilakukan dengan secara random, tetapi dengan memperhitungkan generasi individu yang akan mengalami mutasi.

Salah satu parameter yang penting dalam mutasi adalah peluang mutasi (p_m) yang didefinisikan sebagai perbandingan jumlah seluruh gen pada populasi yang mengalami mutasi. Pada umumnya, untuk menentukan gen yang akan dimutasi, pertama kali dibangkitkan sejumlah bilangan random sebanyak jumlah gen dalam populasi, apabila nilai $random \leq P_m$ maka gen tersebut terpilih untuk mengalami mutasi. Peluang mutasi mengendalikan banyak gen baru yang akan dimunculkan untuk dievaluasi. Jika peluang mutasi terlalu kecil, banyak gen yang mungkin berguna namun tidak pernah dievaluasi. Tetapi bila peluang mutasi terlalu besar, maka akan terlalu banyak gangguan acak, sehingga akan kehilangan kemiripan dengan induknya dan juga akan kehilangan kemiripan belajar dari histori pencarian.

Prosedur mutasi sangatlah sederhana. Untuk semua gen yang ada, jika bilangan random yang dibangkitkan kurang dari probabilitas mutasi P_m yang ditentukan maka algoritma akan mengubah gen tersebut menjadi nilai kebalikannya (dalam *binary encoding*, 0 diubah 1, dan 1 diubah 0). Biasanya P_m diset sebagai $1/n$, di mana n adalah jumlah gen dalam kromosom. Dengan P_m sebesar ini berarti mutasi hanya terjadi pada sekitar satu gen saja. Pada proses AG sederhana, nilai P_m tetap selama evolusi.

Gambar dibawah ini menggambarkan proses mutasi yang terjadi pada gen g_5 .



Gambar 2.6 Proses mutasi gen

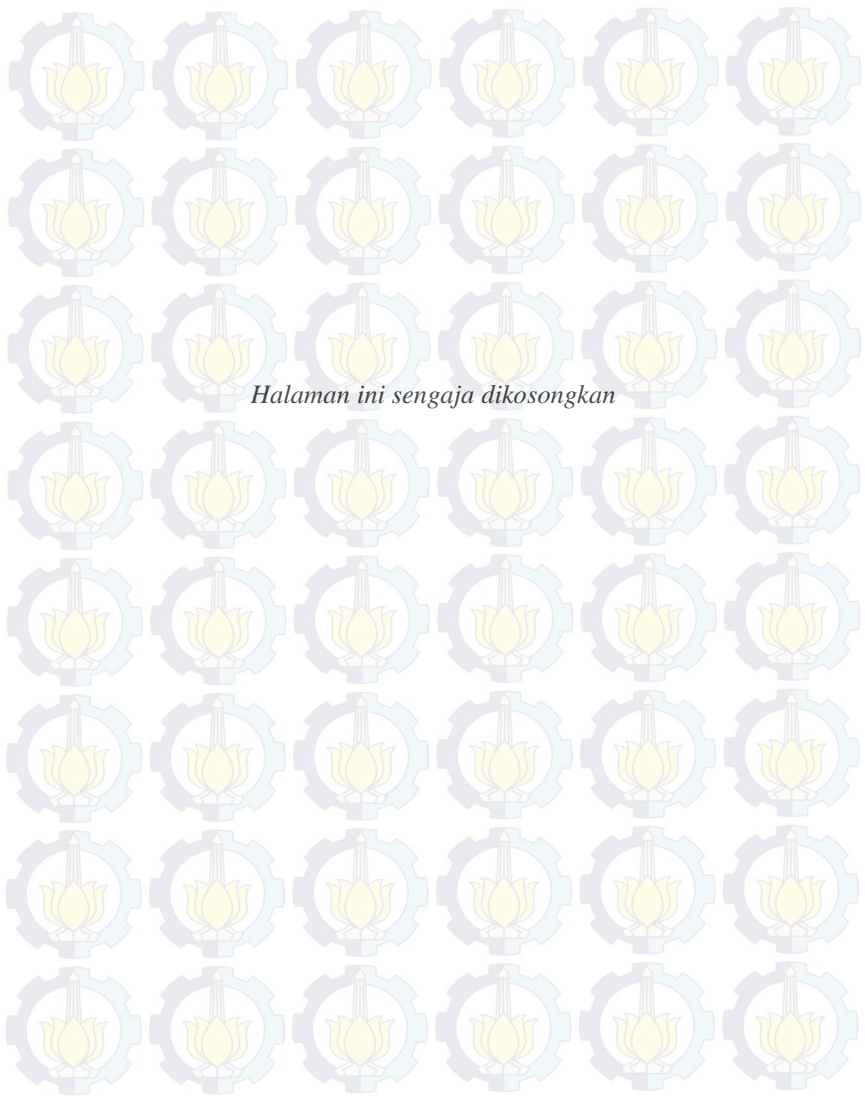
Pada kasus tersebut di atas bilangan random yang dihasilkan lebih kecil daripada probabilitas mutasi P_m terjadi pada gen g_5

sehingga gen g_5 mengalami proses mutasi dengan menjadikan nilai gen tersebut berubah dari 1 menjadi 0.

3.3.7. Konstrain Sistem dan Kondisi Terminasi Algoritma

Sesuai dengan algoritma penelitian dan fungsi evaluasi yang dituju, maka dalam strategi optimasi penempatan dan penentuan kapasitas optimal dari pembangkit tersebar (DG) ini memiliki beberapa batasan (*constraint*) yang harus dipenuhi. Batasan pertama tentunya kapasitas pembangkitan daya dari DG, seperti yang telah didefinisikan dalam metode pengkodean kromosom. Batasan lain yang juga harus diperhatikan menyangkut batas tegangan pada masing-masing bus. Batas tegangan seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya dikalkulasi ketika perhitungan aliran daya dijalankan. Ketika tegangan masing-masing bus sudah tidak berada pada batasan ini, maka iterasi program dihentikan dan solusi terbaik sebelumnya yang menjadi solusi akhir dari optimisasi.

Proses optimasi akan terus dilanjutkan oleh GA hingga jumlah iterasi sama dengan nilai maksimum generasi yang didefinisikan (*maxgen*). Dalam penelitian ini generasi populasi dalam GA akan berhenti pada generasi ke-100. Jumlah yang cukup besar ini diharapkan dapat memadai kebutuhan strategi optimasi untuk mendapatkan nilai yang benar-benar optimal dari sejumlah individu dalam populasi dan proses genetika yang dilakukan



BAB IV HASIL DAN SIMULASI

Bab ini akan membahas mengenai hasil dari simulasi pemaksimalan keluaran daya aktif DG berdasarkan rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG pada sistem IEEE 33 bus. Pada tahap awal akan dilakukan analisa terhadap sistem IEEE 33 bus dalam keadaan normal tanpa adanya penambahan DG dan rekonfigurasi jaringan. Selanjutnya, akan dilakukan analisa terhadap sistem IEEE 33 bus yang sudah ditambahkan DG dengan jumlah pemasangan yang berbeda-beda. Pada tahap akhir analisa akan dilakukan untuk sistem IEEE 33 bus yang telah dilakukan rekonfigurasi dan penambahan DG. Analisa aliran daya yang dilakukan pada tugas akhir ini menggunakan metode *K-Matrik* dan Z_{BR} . Untuk mendapatkan lokasi DG dengan daya aktif yang maksimal digunakan metode GA dengan iterasi sebanyak 100 kali. Parameter yang akan diamati dalam simulasi ini adalah nilai keluaran daya aktif maksimal DG, lokasi penempatan DG dan nilai tegangan pada setiap bus.

4.1. Data Bus dan Saluran IEEE 33 bus

Berikut adalah data dari system IEEE 33 bus yang digunakan dalam simulasi sistem dimodelkan 3 fasa seimbang sehingga memiliki besar impedansi yang sama dari ketiga fasanya.

Tabel 4.1. Data saluran sistem dan beban pada IEEE 33 bus

Branch Number	Sending Bus	Receiving Bus	A/B/C		Nominal Load at Receiving Bus	
			Resistance Ω	Reactance Ω	P	Q
					(kW)	(kVAR)
1	1	2	0,0922	0,047	100	60
2	2	3	0,493	0,2511	90	40
3	3	4	0,366	0,1864	120	80
4	4	5	0,3811	0,1941	60	30
5	5	6	0,819	0,707	60	20
6	6	7	0,1872	0,6188	200	100
7	7	8	0,7144	0,2351	200	100
8	8	9	1,03	0,74	60	20

Lanjutan tabel 4.1

Branch Number	Sending Bus	Receiving Bus	A/B/C		Nominal Load at Receiving Bus	
			Resistance	Reactance	P	Q
			Ω	Ω	(kW)	(kVAR)
10	10	11	0,1966	0,065	45	30
11	11	12	0,3744	0,1298	60	35
12	12	13	1,468	1,155	60	35
13	13	14	0,5416	0,7129	120	80
14	14	15	0,591	0,526	60	10
15	15	16	0,7463	0,545	60	20
16	16	17	1,289	1,721	60	20
17	17	18	0,732	0,574	90	40
18	2	19	0,164	0,1565	90	40
19	19	20	1,5042	1,3554	90	40
20	20	21	0,4095	0,4784	90	40
21	21	22	0,7089	0,9373	90	40
22	3	23	0,4512	0,3083	90	50
23	23	24	0,898	0,7091	420	200
24	24	25	0,896	0,7011	420	200
25	6	26	0,203	0,1034	60	25
26	26	27	0,2842	0,1447	60	25
27	27	28	1,059	0,9337	60	20
28	28	29	0,8042	0,7006	120	70
29	29	30	0,5075	0,2585	200	600
30	30	31	0,9744	0,963	150	70
31	31	32	0,3105	0,3619	210	100
32	32	33	0,341	0,5302	60	40

Dari data jaringan IEEE 33 bus di atas terlihat beberapa bus mengalami *under voltage*. Pemasangan DG dan rekonfigurasi jaringan dapat meningkatkan profil tegangan. Namun, pemasangan DG dan rekonfigurasi jaringan pada system distribusi juga dapat memungkinkan tegangan pada bus mengalami *over voltage* sehingga perlu dilakukan penetapan lokasi pemasangan dan kapasitas yang boleh terpasang.

4.2. Hasil Load Flow IEEE 33 bus

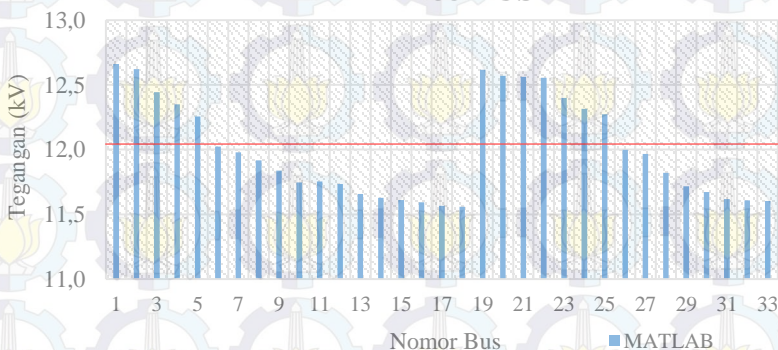
Tabel 4.2. Data tegangan IEEE 33 bus

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
1	12,660	0	1
2	12,622	0,014	0,99
3	12,444	0,096	0,98
4	12,349	0,162	0,97
5	12,256	0,228	0,96
6	12,023	0,134	0,94
7	11,979	-0,096	0,94
8	11,917	-0,06	0,94
9	11,838	-0,133	0,93
10	11,746	-0,196	0,92
11	11,753	-0,188	0,92
12	11,734	-0,177	0,92
13	11,657	-0,268	0,92
14	11,628	-0,347	0,91
16	11,593	-0,408	0,91
17	11,567	-0,485	0,91
18	11,560	-0,495	0,91
19	12,616	0,004	0,99
20	12,570	-0,063	0,99
21	12,562	-0,083	0,99
22	12,554	-0,103	0,99

Lanjutan tabel 4.2

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
23	12,399	0,065	0,97
24	12,314	-0,024	0,97
25	12,272	-0,067	0,96
26	11,998	0,173	0,94
27	11,966	0,229	0,94
28	11,821	0,312	0,93
29	11,717	0,39	0,92
30	11,672	0,496	0,92
31	11,619	0,411	0,91
32	11,608	0,388	0,91
33	11,604	0,38	0,91

IEEE 33 BUS



Gambar 4.1. Grafik tegangan sistem IEEE 33 bus

Hasil analisa aliran daya menunjukkan bahwa pada sistem IEEE 33 bus terdapat beberapa bus yang berada pada kondisi *under voltage* yaitu berada diluar rentang tegangan yang diperbolehkan sebesar 12,027 kV hingga 13,293 kV. Pada tabel 4.1 bus yang mengalami kondisi *under voltage* (tegangan bus dibawah 0,95 p.u) ditunjukkan dalam tabel yang berwarna abu-abu. Sedangkan pada gambar 4.1, bus-bus yang mengalami

kondisi *under voltage* adalah bus yang tegangannya berada dibawah garis merah yang menunjukkan nilai 12,027 kV. Berdasarkan data ini maka selanjutnya akan diuji coba peletakan beberapa unit DG dengan kapasitas maksimal 1 MW.

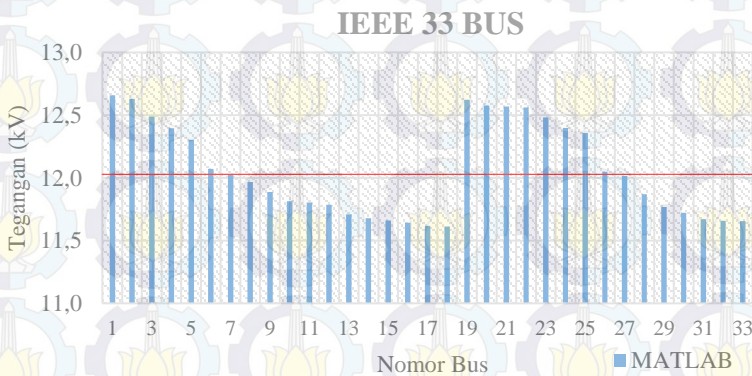
4.3. Hasil Load Flow IEEE 33 bus dengan Penambahan DG

Tabel 4.3. Data tegangan IEEE 33 bus dengan penambahan 1 DG kapasitas 1 MW pada bus 23

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
1	12,660	0	1
2	12,630	0,0310	0,99
3	12,491	0,2040	0,98
4	12,397	0,2690	0,97
5	12,304	0,3350	0,97
6	12,072	0,2410	0,95
7	12,028	0,0130	0,95
8	11,967	0,0490	0,94
9	11,888	-0,0240	0,93
10	11,814	-0,0860	0,93
11	11,804	-0,0780	0,93
12	11,785	-0,0670	0,93
13	11,708	-0,1580	0,92
14	11,679	-0,2360	0,92
15	11,661	-0,2730	0,92
16	11,644	-0,2960	0,91
17	11,618	-0,3730	0,91
18	11,611	-0,3820	0,91
19	12,623	0,0200	0,99
20	12,578	-0,0460	0,99
21	12,569	-0,0660	0,99

lanjutan tabel 4.3

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
22	12,561	-0,0860	0,99
23	12,482	0,2860	0,98
24	12,399	0,1990	0,97
25	12,357	0,1560	0,97
26	12,048	0,2800	0,95
27	12,015	0,3360	0,94
28	11,871	0,4180	0,93
29	11,767	0,4950	0,92
30	11,723	0,6000	0,92
31	11,670	0,5160	0,92
32	11,659	0,4930	0,92
33	11,655	0,4860	0,92



Gambar 4.2. Grafik tegangan IEEE 33 bus dengan penambahan 1 DG kapasitas 1 MW pada bus 23

Pemasangan 1 unit DG dengan kapasitas 1 MW pada bus 23 mampu menghasilkan keluaran daya aktif yang sama besar yaitu 1 MW. Hal ini menunjukkan bahwa keluaran daya aktif DG akan mencapai titik maksimal atau sesuai dengan kemampuan pembangkitan yang dimiliki

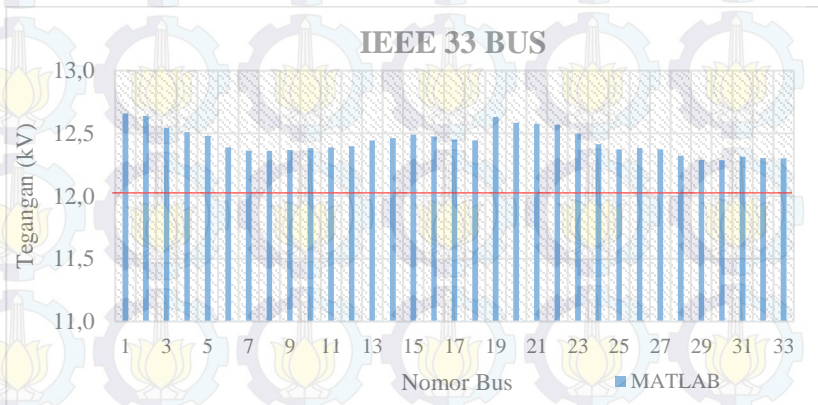
jika ditempatkan pada bus 23. Dampak pemasangan 1 unit DG pada bus 23 mampu memperbaiki sebagian kecil tegangan bus yang sebelumnya berada pada kondisi *critical* menjadi normal. Tegangan bus yang berhasil dinormalkan oleh pemasangan DG adalah bus 6, 7, dan 26.

Tabel 4.4. Data tegangan IEEE 33 bus dengan penambahan 2 DG masing-masing 1 MW

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
1	12,660	0	1
2	12,638	0,0480	0,99
3	12,543	0,3070	0,99
4	12,510	0,5060	0,98
5	12,481	0,7100	0,98
6	12,389	1,1450	0,97
7	12,362	1,1610	0,97
8	12,361	1,2830	0,97
9	12,368	1,4930	0,97
10	12,382	1,7140	0,97
11	12,387	1,7450	0,97
12	12,399	1,8010	0,97
13	12,444	2,1500	0,98
14	12,461	2,3440	0,98
15	12,491	2,5050	0,98
16	12,475	2,4850	0,98
17	12,451	2,4180	0,98
18	12,444	2,4100	0,98
19	12,631	0,0370	0,99
20	12,586	-0,0300	0,99
21	12,577	-0,0490	0,99
22	12,569	-0,0700	0,99
23	12,498	0,2770	0,98
24	12,414	0,1890	0,98

Lanjutan tabel 4.4

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
25	12,372	0,1460	0,97
26	12,382	1,2200	0,97
27	12,374	1,3260	0,97
28	12,321	1,7550	0,97
29	12,288	2,0910	0,97
30	12,286	2,2850	0,97
31	12,315	2,5740	0,97
32	12,304	2,5530	0,97
33	12,301	2,5460	0,97



Gambar 4.3. Data tegangan IEEE 33 bus dengan penambahan 2 DG masing-masing 1 MW

Pemasangan 2 unit DG dengan kapasitas 1 MW pada bus 15 dan 31 mampu menghasilkan keluaran daya aktif yang maksimal dari setiap DG yang digunakan yaitu sebesar 1 MW. Hal ini menunjukkan bahwa keluaran daya aktif DG akan mencapai titik maksimal atau sesuai dengan kemampuan pembangkitan yang dimiliki jika ditempatkan pada bus 15 dan 31. Pemasangan 2 unit DG dengan kapasitas masing-masing DG sebesar 1 MW mampu memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap tegangan pada setiap bus. Hasil analisa aliran daya menunjukkan

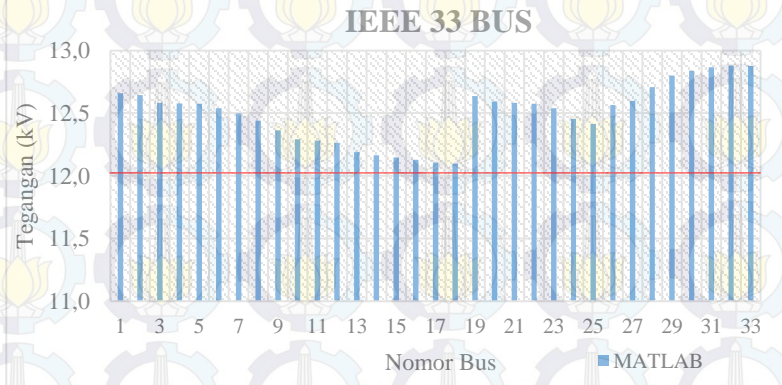
bahwa pemasangan 2 unit DG mampu menormalkan tegangan semua bus yang sebelumnya berada pada kondisi *critical*.

Tabel 4.5. Data tegangan IEEE 33 bus dengan penambahan 3 DG masing-masing 1 MW

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
1	12,660	0	1
2	12,644	0,0650	0,99
3	12,584	0,4190	0,99
4	12,577	0,6860	0,99
5	12,575	0,9620	0,99
6	12,540	1,6430	0,99
7	12,498	1,4320	0,98
8	12,439	1,4650	0,98
9	12,363	1,3980	0,97
10	12,293	1,3410	0,97
11	12,282	1,3480	0,97
12	12,264	1,3580	0,96
13	12,190	1,2740	0,96
14	12,163	1,2030	0,96
15	12,146	1,1680	0,95
16	12,129	1,1470	0,95
17	12,105	1,0760	0,95
18	12,097	1,0680	0,95
19	12,637	0,0540	0,99
20	12,592	-0,0120	0,99
21	12,583	-0,0320	0,99
22	12,575	-0,0520	0,99
23	12,539	0,3880	0,99
24	12,456	0,3020	0,98
25	12,414	0,2590	0,98
26	12,564	1,7930	0,99

lanjutan tabel 4.5

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
27	12,599	2,0030	0,99
28	12,708	3,0780	1
29	12,800	3,8850	1,01
30	12,838	4,1530	1,01
31	12,866	4,4170	1,01
32	12,879	4,5240	1,01
33	12,876	4,5180	1,01



Gambar 4.4. Data tegangan IEEE 33 bus dengan penambahan 3 DG masing-masing 1 MW

LOKASI DG PADA BUS 29, 30, 32

Pemasangan 3 unit DG dengan kapasitas 1 MW pada bus 29, 30 dan 32 mampu menghasilkan keluaran daya aktif yang maksimal dari setiap DG yang digunakan yaitu sebesar 1 MW. Hal ini menunjukkan bahwa keluaran daya aktif DG akan mencapai titik maksimal atau sesuai dengan kemampuan pembangkitan yang dimiliki jika ditempatkan pada bus 29, 30, dan 32. Pemasangan 3 unit DG dengan kapasitas masing-masing DG sebesar 1 MW mampu memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap tegangan pada setiap bus. Hasil analisa aliran daya

menunjukkan bahwa pemasangan 3 unit DG mampu menormalkan tegangan semua bus yang sebelumnya berada pada kondisi *under voltage*.

4.4. Hasil Load Flow IEEE 33 bus dengan Penambahan DG dan Rekonfigurasi Jaringan

Strategi rekonfigurasi dan penempatan DG yang akan dilakukan berdasarkan hasil yang diperoleh pada matlab adalah sebagai berikut :

Lokasi DG 1 pada bus : 30.0
 Kapasitas DG : 0.94 MW
 Lokasi DG 2 pada bus : 27.0
 Kapasitas DG 2 : 0.87 MW
 Lokasi DG 3 pada bus : 33.0
 Kapasitas DG 3 : 1.00 MW
 Switch open : bus 19.0 ke bus 20.0
 Switch open : bus 12.0 ke bus 22.0
 Switch open : bus 13.0 ke bus 14.0
 Switch open : bus 31.0 ke bus 32.0
 Switch open : bus 27.0 ke bus 28.0

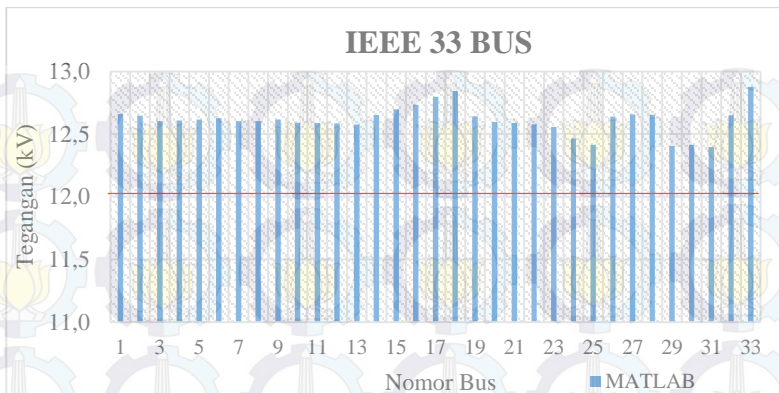
Berdasarkan strategi yang diperoleh dari *running program* pada matlab kemudian disimulasikan pada software etap dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.6. Data tegangan IEEE 33 bus dengan rekonfigurasi jaringan dan penambahan 3 DG

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
1	12,660	0	1
2	12,647	0,0610	0,99
3	12,604	0,3930	0,99
4	12,608	0,5130	0,99
5	12,616	0,6360	0,99
6	12,627	0,9670	0,99
7	12,602	0,9920	0,99

Lanjutan tabel 4.6

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
8	12,604	1,1070	0,99
9	12,617	1,3120	0,99
10	12,591	1,2970	0,99
11	12,588	1,3000	0,99
12	12,584	1,3040	0,99
13	12,574	1,2980	0,99
14	12,651	-0,0060	0,99
15	12,697	1,8840	1
16	12,734	2,0580	1
17	12,798	2,5800	1,01
18	12,843	2,7710	1,01
19	12,641	0,0500	0,99
20	12,595	-0,0160	0,99
21	12,587	-0,0360	0,99
22	12,578	-0,0560	0,99
23	12,558	0,5360	0,99
24	12,465	0,8140	0,98
25	12,414	1,1390	0,98
26	12,639	0,9990	0,99
27	12,656	1,0430	0,99
28	12,655	-0,0090	0,99
29	12,403	1,3640	0,97
30	12,413	1,5470	0,98
31	12,396	1,5190	0,97
32	12,650	-0,0280	0,99
33	12,877	2,9400	1,01



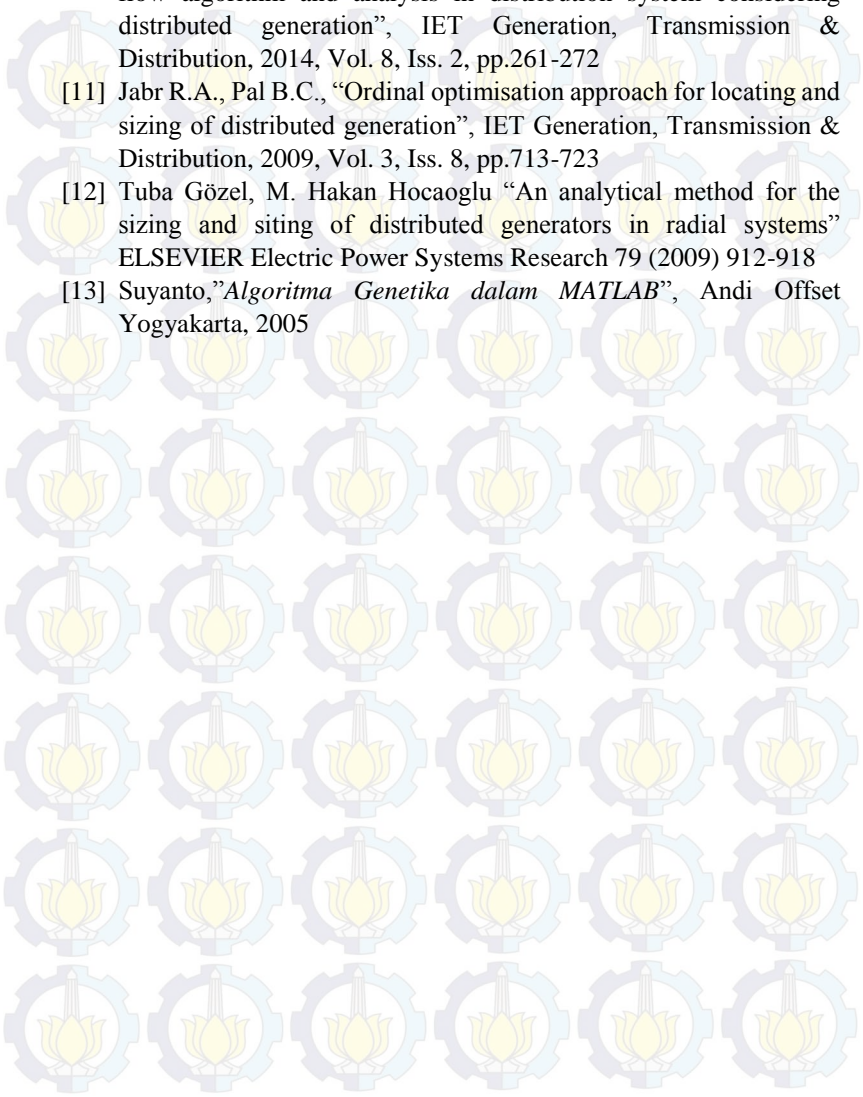
Gambar 4.5. Data tegangan IEEE 33 bus dengan rekonfigurasi jaringan dan penambahan 3 DG

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat dilihat bahwa semua tegangan dalam kondisi normal. Tidak semua DG yang dipasang mampu memberikan daya aktif yang optimal ketika dipasang pada jaringan sehingga dengan melakukan rekonfigurasi dan penempatan 3 DG diperoleh keluaran daya aktif DG maksimal yang dapat dipasang pada jaringan adalah sebesar 2,89 MW dengan asumsi kapasitas masing-masing DG sebesar 1 MW.



DAFTAR PUSTAKA

- 
- [1] S.G. Bharathi Dasan and S.Selvi Ramalakshmi, "Optimal Siting and Sizing of Hybrid Distributed Generation Using EP", Third International Conference on Power System, Kharagpur, India, 2009.
 - [2] Taher Abbas Seyed dan Karimi Mohammad Hossein, "Optimal Reconfiguration and DG Allocation in Balance and Unbalance Distribution System", Ain Shams Engineering Journal (2014) 5, 735-749, Mei 2014
 - [3] Imran Mohamed, Kowsalya M, Kothari D.P., "A Novel Integration Technique for Optimal Network Reconfiguration and Distributed Generation Placement in Power Distribution Networks", Electrical Power and Energy Systems 63 (2014) 461-472, Juli 2014
 - [4] A.A. Bayod Rujula, J. Mur Amada "Definition for Distributed Generation: a revision", Department of Electrical Engineering, Centro Politecnico Superior, University of Zaragoza, Zaragoza, Spain 2010.
 - [5] Thomas Ackermann, Goran Andersson, and Lennart Soder, "Distributed Generation: a definition", ELSEVIER Electrical Power Sistem Research 57 (2001) 195-204, Desember 2000.
 - [6] Gas Research Institute, Distributed Power Generation: A Strategy for a Competitive Energy Industry, Gas Research Institute, Chicago, USA 1998.
 - [7] J. Cardell, R. Tabors, Operation and control in a competitive market: distributed generation in a restructured industry, in: The Energy Journal Special Issue: Distributed Resources: Toward a New Paradigm of the Electricity Business, The International Association for Energy Economics, Cleveland, Ohio, USA, 1998, pp. 111-135.
 - [8] CIGRE, Impact of increasing contribution of dispersed generation on the power system; CIGRE Study Committee no 37, Final Report, September 1998.
 - [9] D. Sharma, R. Bartels, Distributed electricity generation in competitive energy markets: a case study in Australia, in: The Energy Journal Special issue: Distributed Resources: Toward a New Paradigm of the Electricity Business, The International Association for Energy Economics, Cleveland, Ohio, USA, 1998, pp. 17-40.

- 
- [10] Wanxing Sheng, Ke-yan Liu, and Sheng Cheng, “Optimal power flow algorithm and analysis in distribution system considering distributed generation”, IET Generation, Transmission & Distribution, 2014, Vol. 8, Iss. 2, pp.261-272
- [11] Jabr R.A., Pal B.C., “Ordinal optimisation approach for locating and sizing of distributed generation”, IET Generation, Transmission & Distribution, 2009, Vol. 3, Iss. 8, pp.713-723
- [12] Tuba Gözel, M. Hakan Hocaoglu “An analytical method for the sizing and siting of distributed generators in radial systems” ELSEVIER Electric Power Systems Research 79 (2009) 912-918
- [13] Suyanto,”*Algoritma Genetika dalam MATLAB*”, Andi Offset Yogyakarta, 2005

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari analisis hasil simulasi serta pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Penempatan 1 DG 1MW pada bus 23 sistem ieee 33 bus, menghasilkan keluaran daya aktif maksimal sebesar 1 MW.
2. Penempatan 2 DG 1MW pada bus 15 dan 31 sistem ieee 33 bus, menghasilkan keluaran daya aktif maksimal sebesar 1 MW pada setiap DG.
3. Penempatan 3 DG 1MW pada bus 29,30 dan 32 sistem ieee 33 bus, menghasilkan keluaran daya aktif maksimal sebesar 1 MW pada setiap DG.
4. Rekonfigurasi jaringan dan penempatan 3 DG 1 MW mampu menghasilkan keluaran daya aktif DG maksimal sebesar 0,87 MW pada bus 27, 0,94 MW pada bus 30, dan 1 MW pada bus 33.
5. Penggunaan *Genetic Algorithm* mampu menghasilkan solusi optimal untuk menentukan lokasi penempatan DG yang sesuai agar diperoleh keluaran daya aktif DG yang maksimal.

5.2. Saran

1. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan kondisi nyata lapangan sebaiknya sistem tidak diasumsikan dalam kondisi seimbang.
2. Pemaksimalan keluaran daya aktif DG sebaiknya juga memperhitungkan biaya pembangkitan dari jenis DG yang digunakan.

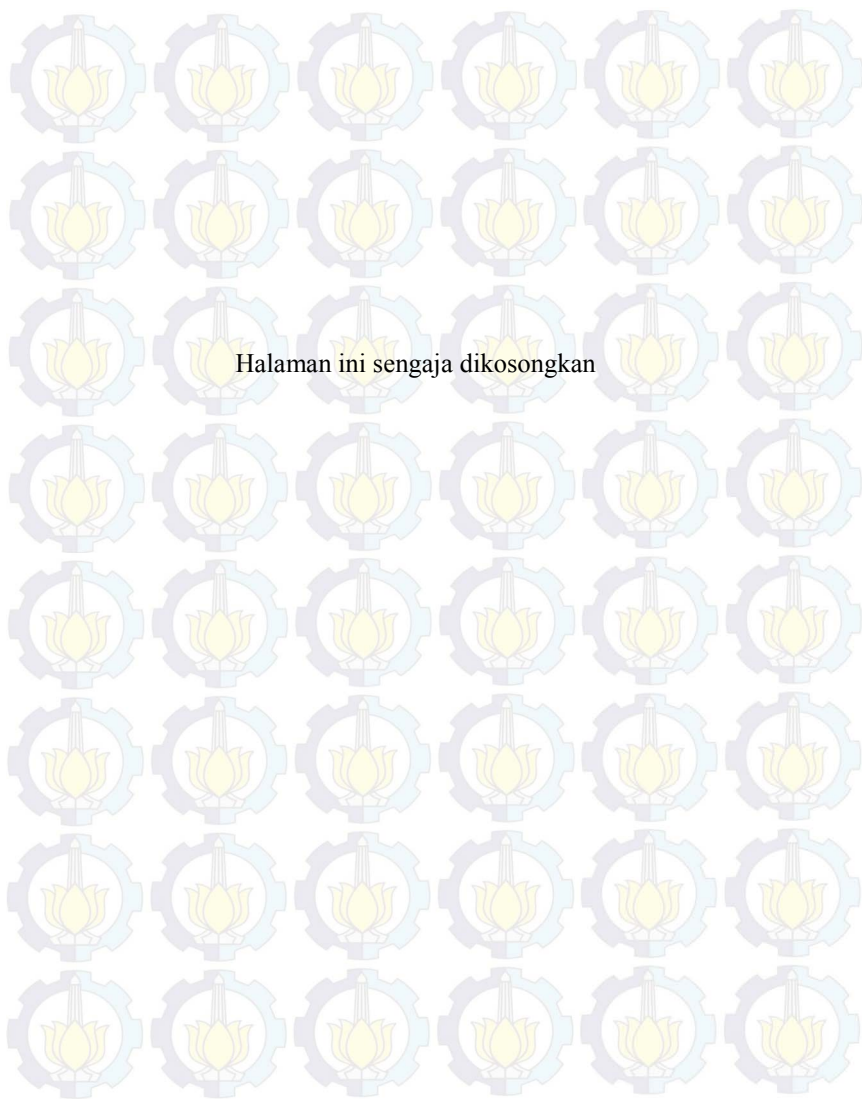


ABSTRACT

The load development but not matched with adequate electrical energy generation could disrupt the availability of electrical energy for customers. One way to maintain the availability of electrical energy that is able to accommodate growth without increasing the load capacity of the main plant is to put the Distributed Generation (DG). DG able to supply additional active power in the electric energy distribution network but is less precise placement may result in active power output DG is not optimal. Therefore, in this final project proposed reconfiguration of the network and determining the location of the corresponding DG by using Genetic Algorithm to be tested on a three-phase radial distribution system.

Based on the results obtained indicate that the placement of 1 DG 1 MW at 23 bus IEEE 33 bus system produces active power output of 1 MW. 2 DG 1MW placement on buses 15 and 31 IEEE 33 bus system, resulting in a maximum active power output of 1 MW in each DG. Placement 3 DG 1MW at 29,30 and 32 bus IEEE 33 bus system, resulting in a maximum active power output of 1 MW in each DG. Network reconfiguration and placement 3 DG 1 MW capable of producing a maximum output of active power of 0.87 MW DG on bus 27 on bus 30 0.94 MW and 1 MW at bus 33

Keyword: Distributed Generation, Genetic Algorithm, Network Reconfiguration, Real Power



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, dengan segala puji syukur kepada Allah SWT yang memiliki segala apa yang ada di dunia. Dengan segala kerendahan hati, hanya karena limpahan kasih sayang, karunia, petunjuk, dan bimbingan Allah SWT penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Studi Optimasi Keluaran Daya Aktif *Distributed Generation* (DG) Pada Sistem Distribusi Radial Tiga Fasa dengan Rekonfigurasi Jaringan dan Penentuan Lokasi DG Menggunakan *Genetic Algorithm*”

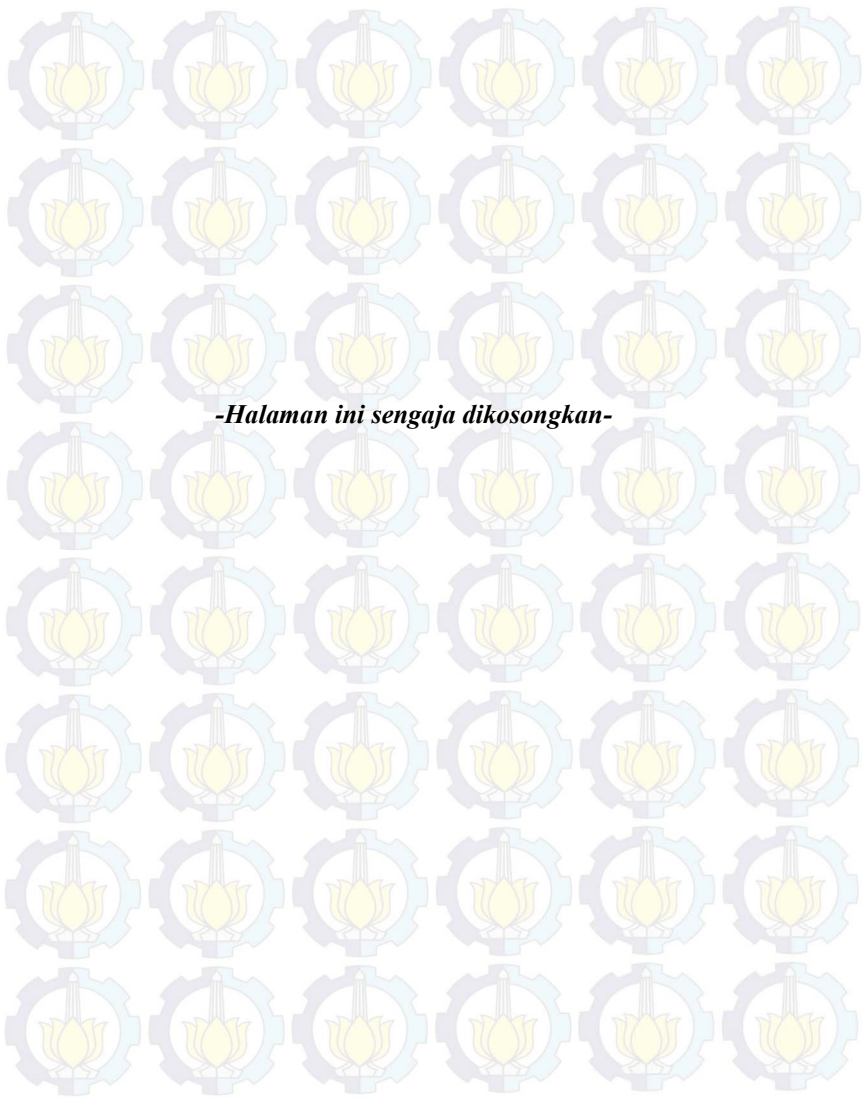
Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri-Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu, bapak, mas Imam, dan mbak Kiki atas perjuangan dan dukungan yang diberikan kepada penulis untuk dapat meraih ilmu dan menyelesaikan studi di Teknik Elektro - ITS
2. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D dan Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T., sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan arahan dan perhatiannya dalam penyelesaian Tugas Akhir.
3. Teman-teman seperjuangan Final Project B103 dari Laboratorium Simulasi Teknik Tenaga, Tim Sepuluh Antok, Nizar, Gembol, Bagus, Agung, Okta, Yakin, Kakim, Surya. Dan tim Power Ranger : Rizqi, Oyong, Indro, Umen, Samsu, Fian.
4. Teman-teman “kerengcrew” yang selalu menemani diakhir pekan.
5. Keluarga Besar Teknik Elektro yang selama ini menemani dalam setiap kondisi.

Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juni 2015

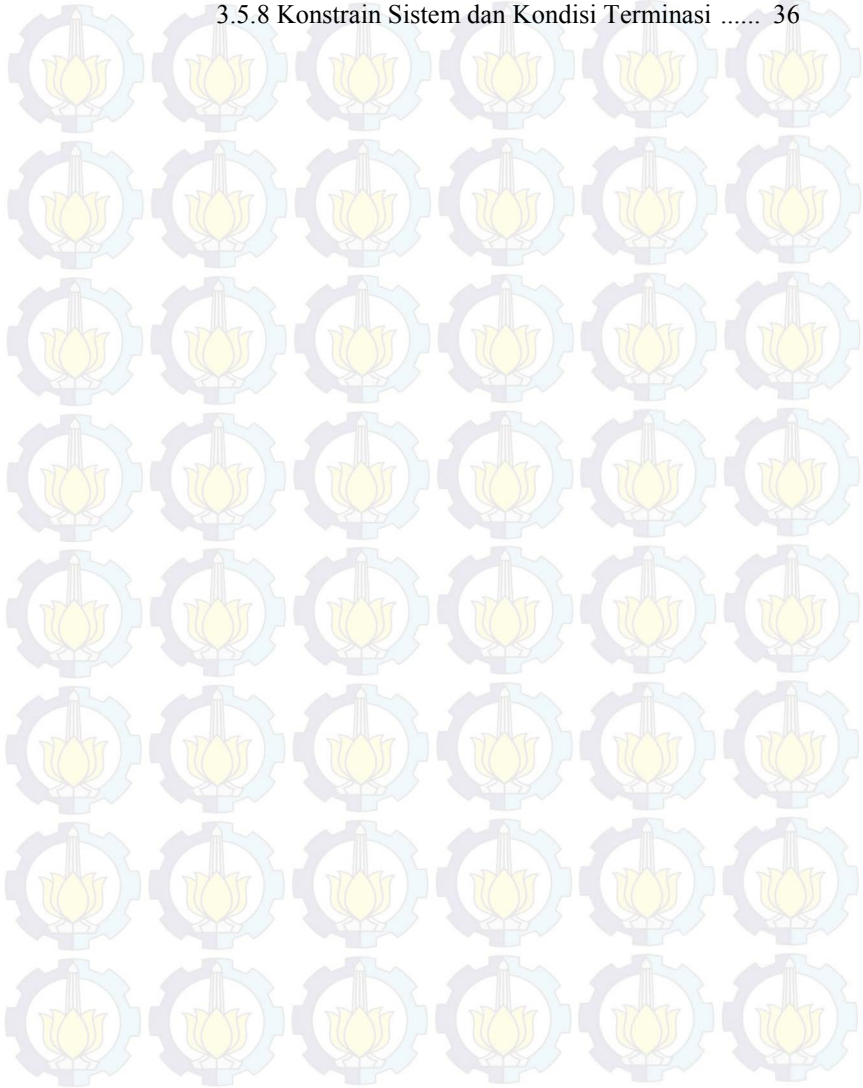
Penulis



DAFTAR ISI

BAB I	PENDAHULUAN	1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Permasalahan	2
1.3	Batasan Masalah	2
1.4	Tujuan	2
1.5	Metode Penelitian	2
1.6	Sistematika Penulisan	4
1.7	Relevansi	4
BAB II	DG, SISTEM DISTRIBUSI REKONFIGURASI JARINGAN DAN GA	5
2.1	<i>Distributed Generation</i> (DG)	5
2.2	Sistem Distribusi	7
2.3	Rekonfigurasi Jaringan	10
2.4	Algoritma Genetika	11
2.4.1	Istilah-istilah dalam Algoritma Genetika	13
2.4.2	Teknik Pengkodean	14
2.4.3	Prosedur Inisialisasi	15
2.4.4	Fungsi Evaluasi	15
2.4.5	Seleksi	16
2.4.6	Operator Genetika	16
2.3.6.1	Pindah silang (<i>Crossover</i>)	16
2.3.6.2	Mutasi	17
2.3.6.3	Elitisme	19
BAB III	METODE PENEMPATAN DAN PENENTUAN KAPASITAS OPTIMAL PEMBANGKIT TERSEBAR (DG)	21
3.1	Aliran Daya pada Sistem Distribusi Radial	21
3.2	Metode K-Matrik dan Z_{BR}	22
3.2.1	Metode Z_{BR}	22
3.2.2	Metode K-Matrik	26
3.3	GA untuk Memaksimalkan Daya Aktif DG	28
3.3.1	Pengkodean Kromosom	31
3.3.2	Pembangkitan Populasi Awal	32
3.3.3	Evaluasi Individu	33
3.3.4	Seleksi Menggunakan <i>Roulette Wheel</i>	33

3.3.5 Prosedur Pindah Silang	35
3.3.6 Mutasi	35
3.5.8 Konstrain Sistem dan Kondisi Terminasi	36



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Aris Munandar, lahir di Malang – Jawa Timur pada Tahun 1992. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Negeri Ardimulyo 1, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Singosari dan SMK Negeri 8 Malang. Pada tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan jenjang Diploma di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya dengan konsentrasi bidang studi Teknik Elektronika. Pada tahun 2013 penulis berhasil menyelesaikan pendidikan diploma dan pada saat itu juga melanjutkan pendidikan untuk jenjang sarjana. Pendidikan sarjana ditempuh di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di jurusan teknik elektro dengan konsentrasi bidang studi sistem tenaga.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Belakangan ini teknologi tentang *Distributed Generation* (DG) sering menjadi topik penelitian seiring dengan peningkatan kepekaan masyarakat terhadap energi terbarukan yang bersih dan ramah lingkungan. Kebutuhan energi listrik yang terus berkembang dapat mengancam kemampuan pembangkit utama dalam memasok energi listrik yang dibutuhkan oleh masyarakat. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menempatkan DG pada jaringan distribusi. Dengan menempatkan DG, kemampuan jaringan distribusi untuk memasok daya aktif kepada pelanggan dapat ditingkatkan sehingga perkembangan beban yang mungkin terjadi dapat teratasi. Namun, dengan penambahan DG pada jaringan distribusi akan berdampak terhadap perencanaan, operasi dan kontrol jaringan distribusi. Arah aliran daya dan arus hubung singkat dari jaringan distribusi sebelumnya akan mengalami perubahan yang cukup signifikan. Penempatan lokasi DG yang tidak sesuai akan berakibat tidak maksimalnya daya aktif yang dapat disalurkan. Oleh karena itu, perlu adanya suatu perencanaan sebelum menghubungkan DG pada jaringan distribusi.

Distributed Generation merupakan pembangkit listrik kecil (pada umumnya mulai dari beberapa kW hingga puluhan MW) yang bukan merupakan suatu bagian dari sistem pembangkit utama dan diletakkan di dekat beban. Penggunaan DG mengalami peningkatan karena peran pentingnya dalam suplai sistem tenaga listrik. Hal ini disebabkan oleh efisiensi tinggi, ukuran yang kecil, biaya investasi yang rendah, kemampuan modular, serta kedekatan dengan sumber energi yang dimiliki oleh DG [1].

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penempatan DG terhadap rugi-rugi daya dan keandalan jaringan distribusi dengan menggunakan *Genetic Algorithm* [2]. Pada tugas akhir ini, metode *Genetic Algorithm* digunakan untuk menentukan untuk menentukan lokasi DG yang akan diaplikasikan pada sistem IEEE 33 bus. Optimasi penentuan kapasitas dan lokasi DG dengan menggunakan konstrain tegangan bus, yaitu DG berkapasitas tertentu diletakkan pada bus tanpa melewati batas tegangan maksimum dan tegangan minimum bus tersebut. Pada penelitian lainnya [3], penempatan

DG dan rekonfigurasi jaringan yang dilakukan secara simultan mampu menurunkan rugi-rugi daya dan memperbaiki tegangan bus yang lebih baik. Skenario penempatan DG dan rekonfigurasi jaringan secara simultan menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan melakukan rekonfigurasi dan penempatan DG secara terpisah.

1.2. Permasalahan

1. Bagaimana lokasi penempatan *Distributed Generation* (DG) yang tepat untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG pada sistem distribusi radial tiga fasa menggunakan metode *Genetic Algorithm*?
2. Bagaimana rekonfigurasi jaringan dan lokasi penempatan *Distributed Generation* (DG) yang tepat untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG pada sistem distribusi radial tiga fasa menggunakan metode *Genetic Algorithm*?

1.3. Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut :

1. Fungsi obyektif dari optimisasi yang dilakukan adalah memaksimalkan keluaran daya aktif DG.
2. Kapasitas maksimal setiap DG yang digunakan sebesar 1 MW.
3. Penempatan DG menggunakan metode *genetic algorithm* (GA).
4. Simulasi menggunakan sistem distribusi IEEE 33 bus.
5. Simulasi menggunakan Matlab 2009a
6. Analisa dilakukan dalam kondisi steady state
7. Sistem dalam keadaan tiga fasa seimbang ($R = S = T$)
8. DG dalam kondisi ideal.
9. Faktor koordinasi dan sinkronisasi antar DG dan pada sistem diabaikan
10. Optimasi dibuat untuk tujuan perencanaan (desain) bukan untuk diterapkan secara on-line.

1.4. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah mengembangkan metode perencanaan dalam penentuan lokasi penempatan DG dan rekonfigurasi jaringan yang tepat untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG sehingga dapat memaksimalkan energi listrik yang disumbangkan oleh DG terhadap jaringan.

1.5. Metode Penelitian

Pada tugas akhir ini dibuat program untuk mendapatkan konfigurasi jaringan dan lokasi DG yang optimal menggunakan metode Genetic Algorithm (GA). Program dibuat dengan menggunakan software Matlab. Tahapan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah :

1. Studi literature
Literature yang digunakan berasal dari *paper*, jurnal dan *text book*. Dalam studi literature dipelajari teori – teori pendukung seperti Genetic Algorithm (GA) dan perancangan perangkat lunak menggunakan Matlab.
2. Pengumpulan data
Data yang digunakan meliputi data bus dan data saluran. Data bus terdiri atas data beban yang digunakan untuk mendapatkan nilai daya aktif dan daya reaktif pada setiap cabang. Data saluran terdiri atas resistansi dan reaktansi tiap kabel. Semua data tersebut digunakan untuk memperoleh data pengukuran sebenarnya menggunakan software matlab.
3. Pemodelan program
Pemodelan program dilakukan untuk mendapatkan model program dari optimasi rekonfigurasi jaringan dan penempatan *distributed generation* (DG). Pemodelan dimaksudkan untuk mengetahui konfigurasi jaringan dan lokasi penempatan DG paling optimal. Input berupa data power flow, power injection dan data saluran . Output berupa lokasi penempatan DG terbaik dengan daya aktif maksimal dan rekonfigurasi jaringan yang harus dilakukan.
4. Perancangan perangkat lunak
Perancangan perangkat lunak untuk memperoleh rekonfigurasi jaringan dan penempatan optimal *distributed generation* (DG). Perancangan perangkat lunak menggunakan Matlab.
5. Simulasi dan analisis
Simulasi dilakukan dengan menggunakan sistem distribusi IEEE 33 bus. Simulasi terdiri atas 2 program utama yaitu load flow aktif tiga fasa seimbang dan optimasi menggunakan *genetic algorithm* (GA). Optimasi digunakan untuk mengetahui konfigurasi jaringan dan penempatan DG terbaik untuk memperoleh keluaran daya aktif yang maksimal.

6. Penulisan buku

Hasil penelitian yang telah dilakukan dilaporkan dalam bentuk laporan tugas akhir dan paper. Laporan berisi metode dan kesimpulan dari penelitian.

1.6. Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini disusun dalam suatu sistematika sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan yang membahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, permasalahan, batas masalah, metode penelitian, sistematika penulisan dan relevansi dari Tugas Akhir.

Bab 2 : Dasar teori yang menjelaskan teori mengenai dasar sistem tenaga listrik dan analisa aliran daya

Bab 3 : Pembahasan teori K-Matrik dan Z_{br} yang digunakan pada proses aliran daya dan teori optimasi *Genetic Algorithm*.

Bab 4 : Hasil simulasi rekonfigurasi jaringan dan penempatan optimal *distributed generation* (DG) untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG pada sistem IEEE 33 bus.

Bab 5 : Kesimpulan Tugas Akhir yang mengemukakan hasil pembahasan dan saran-saran sehubungan dengan pokok-pokok pembahasan.

1.7. Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat berikut :

1. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan sistem kelistrikan, khususnya pada permasalahan yang terkait dalam kurangnya alat pengukuran dan penempatan sensor secara optimal pada sistem tenaga listrik.
2. Dapat meningkatkan penguasaan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) di bidang Sistem Tenaga listrik bagi pengusul Tugas Akhir.
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan mengambil Tugas Akhir yang mengambil masalah yang serupa.

BAB II

DG, SISTEM DISTRIBUSI, REKONFIGURASI JARINGAN DAN GA

2.1. Distributed Generation (DG)

Distributed Generation merupakan pembangkit tenaga listrik tersebar dengan kemampuan pembangkitan yang lebih kecil dibandingkan dengan pembangkit konvensional pada umumnya. Sehingga, penggunaan DG pada jaringan lebih diutamakan sebagai *supporting generation* untuk mendukung pembangkitan energi listrik dari pembangkit utama [1]. Di negara-negara Anglo-Amerika DG lebih dikenal dengan istilah *Embedded Generation*, Amerika Utara menggunakan istilah *Dispersed Generation*, sedangkan di Eropa dan sebagian Asia menggunakan istilah *Decentralized Generation* [2].

Definisi DG menurut beberapa ahli dan lembaga riset internasional masih terdapat perbedaan. Menurut DPCA (*Distributed Power Coalition of America*) DG adalah pembangkit listrik berskala kecil yang dengan lokasi yang lebih dekat pada sisi pelanggan daripada pembangkit utama, pembangkit ini dapat dihubungkan langsung pada sisi pelanggan atau terhubung pada jaringan transmisi atau distribusi terlebih dahulu. CIGRE (*International Conference on High Voltage Electric System*) mendefinisikan DG sebagai pembangkit yang tidak terpusat dan kebanyakan dihubungkan pada jaringan distribusi. IEA (*International Energy Agency*) mendefinisikan DG sebagai pembangkit yang melayani kebutuhan energi listrik pelanggan secara langsung atau berdekatan dengan lokasi pelanggan dan juga dapat berfungsi sebagai pendukung jaringan distribusi. Menurut Arthur D. Little DG dapat merupakan pembangkit yang terhubung pada jaringan atau pembangkit yang berdiri sendiri, pembangkit yang bersifat modular yang dapat memberikan keuntungan bagi pelanggan, sistem kelistrikan, atau keduanya [1].

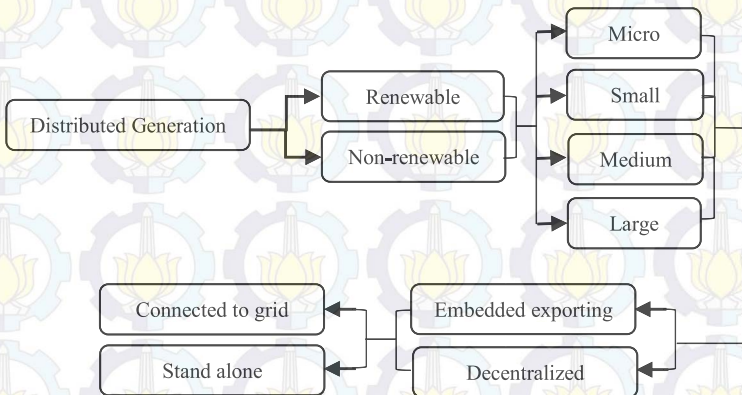
Definisi yang berbeda-beda dari beberapa sumber mungkin dikarenakan perbedaan latar belakang dan pengalaman. Untuk saat ini masih belum terdapat aturan pasti tentang definisi DG sehingga istilah DG masih sangat luas untuk dikembangkan pada sektor industri melalui penelitian yang berkelanjutan.

Selain banyaknya perbedaan pendapat tentang definisi DG, rentang kapasitas pembangkit yang dapat dikategorikan sebagai DG juga mengalami perbedaan, sehingga belum terdapat acuan yang pasti. Berikut

definisi kapasitas DG berdasarkan beberapa ahli dan lembaga riset internasional :

1. Gas Research Institute mendefinisikan DG sebagai pembangkit dengan kapasitas antara 25 kW hingga 25 MW [3].
2. Cardell mendefinisikan DG sebagai pembangkit dengan kapasitas antara 500 kW hingga 1 MW [4].
3. International Conference on Large High Voltage Electric Systems (CIGRE) mendefinisikan DG sebagai pembangkit dengan kapasitas antara 50 hingga 100 MW [5].
4. Sharma dan Bartels menentukan ukuran mulai dari beberapa kilowatt hingga lebih dari 100 MW [6].

Pemasangan DG pada jaringan sangat mempengaruhi perencanaan, operasi dan pengaturan jaringan distribusi tenaga listrik. Namun, batas kapasitas DG yang belum seragam, menyebabkan analisa penempatan DG pada jaringan lebih sulit untuk dilakukan. Hal ini dikarenakan kapasitas DG merupakan salah satu kunci penting dalam melakukan analisa penentuan lokasi yang tepat untuk pemasangan DG [7].



Gambar 2.1 Klasifikasi DG

Berdasarkan Gambar 2.1, DG dapat diklasifikasikan berdasarkan penggunaan sumber pembangkit, kapasitas pembangkit, lokasi pembangkit, dan konektifitas terhadap jaringan. Sumber energi yang digunakan oleh DG untuk membangkitkan energi listrik dapat berasal dari sumber energi terbarukan atau energi tak terbarukan. Energi terbarukan

yang sering digunakan pada DG meliputi *wind turbines, biomass, photovoltaics, geothermal, small hydro, dan tidal and wave* [8]. Lokasi DG dapat dibedakan menjadi dua yaitu, *embedded exporting* DG dan *decentralized* DG. *Embedded exporting* DG adalah pembangkit yang terpusat pada satu lokasi tertentu dan kebanyakan berlokasi jauh dari pelanggan. Sedangkan *decentralized* DG adalah pembangkit yang lokasinya tersebar namun dekat dengan pelanggan. Konektifitas DG pada jaringan adalah dapat berdiri sendiri (*stand alone*) dan terhubung pada jaringan (*connected to grid*) baik pada jaringan transmisi atau distribusi. Sedangkan untuk kapasitas pembangkit, skala kapasitas pembangkit dapat diklasifikasikan seperti pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi DG berdasarkan Kapasitas Pembangkit

Jenis DG	Kapasitas Pembangkit
Micro DG (DG Mikro)	1 Watt – 5 kW
Small DG (DG Kecil)	5 kW – 5 MW
Medium DG (DG Sedang)	5 MW – 50 MW
Large DG (DG Besar)	50 MW – 300 MW

Penempatan dan kapasitas DG yang sesuai mampu memberikan dampak positif pada jaringan atau secara umum disebut “*system support benefit*”. Dampak tersebut meliputi kestabilan tegangan, mengurangi rugi-rugi, meningkatkan kapasitas jaringan transmisi dan distribusi, meningkatkan keandalan sistem dan kualitas daya [9].

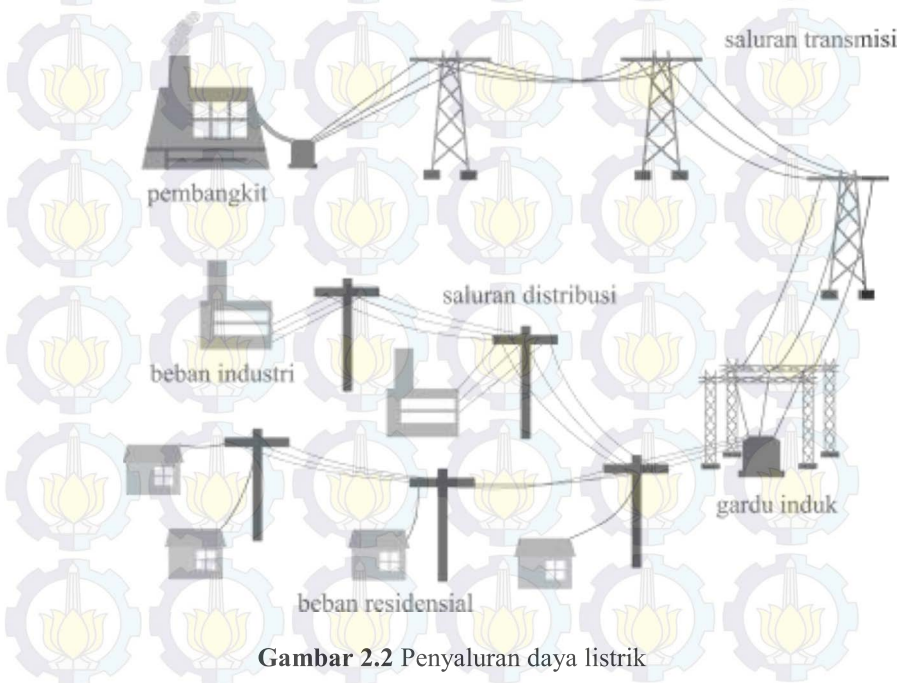
Kedepan, integrasi penggunaan DG pada jaringan distribusi dapat memegang peran penting dalam pembangunan jaringan yang aktif, fleksibel dan memfasilitasi penggunaan sumber energi terbarukan untuk mengurangi dampak emisi rumah kaca.

2.2. Sistem distribusi

Pusat pembangkitan energi listrik umumnya berlokasi terpusat sehingga jauh dari pusat beban. Energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit selanjutnya disalurkan menuju pelanggan melalui jaringan transmisi dan jaringan distribusi. Jaringan transmisi berfungsi untuk menghubungkan semua pusat pembangkit dan pusat beban utama. Jaringan transmisi pada suatu sistem tenaga listrik yang terinterkoneksi

beroperasi pada level tegangan tinggi antara 150 kV hingga 500 kV. Pada tahapan selanjutnya, jaringan distribusi merupakan tahap akhir dari penyaluran energi listrik menuju pelanggan.

Tegangan pada jaringan distribusi dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian besar, yaitu distribusi primer dengan tegangan 20 kV dan distribusi sekunder dengan tegangan 380/220 V. Jaringan distribusi dengan level tegangan 20 kV sering disebut sebagai sistem distribusi tegangan menengah. Sedangkan jaringan distribusi dengan level tegangan 380/220 V disebut sebagai jaringan distribusi sekunder atau jaringan tegangan rendah.



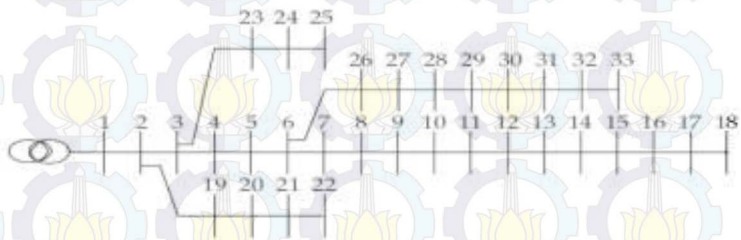
Gambar 2.2 Penyaluran daya listrik

Jaringan distribusi memiliki jalur yang menyebar dan berkeluk menyesuaikan lokasi pelanggan. Umumnya saluran distribusi merupakan saluran 3 fasa dengan lajur yang sama. Sehingga saluran per fasa yang disalurkan ke beban bermula dari transformator distribusi. Adanya perbedaan beban yang ditanggung oleh masing-masing fasa diatur dengan

proporsi beban yang dibagi-bagi sedemikian rupa sehingga sistem tiga fasa tetap dalam kondisi seimbang.

2.2.1 Jaringan distribusi radial

Jaringan distribusi radial adalah sistem jaringan distribusi yang paling sederhana dan ekonomis sehingga bentuk jaringan ini lebih sering diaplikasikan. Jaringan distribusi radial dibentuk dari sebuah saluran saluran yang ditarik secara radial dari suatu sumber tertentu dan kemudian dibagi menuju beberapa cabang sesuai dengan pembagian beban yang telah direncanakan.



Gambar 2.3 IEEE 33 Bus radial distribution system

Pada jaringan distribusi radial seperti gambar 2.3, sebuah sumber atau pembangkit disalurkan menuju beberapa titik beban melalui sebuah saluran utama. Melalui saluran utama inilah kemudian ditarik kembali beberapa cabang melalui beberapa bus sebagai percabangan. Ketika terjadi gangguan pada suatu area, maka gangguan tersebut juga akan berdampak pada area dibelakangnya. Semakin dekat area gangguan terhadap sumber pembangkit, semakin besar jumlah area yang akan ikut mengalami gangguan.

Terdapat perbedaan arus beban yang mengalir pada setiap saluran. Hal ini menyebabkan penggunaan konduktor dengan luas penampang yang berbeda-beda. Semakin dekat suatu saluran dengan sumber pembangkit, arus beban akan semakin besar sehingga membutuhkan konduktor dengan luas penampang yang lebih besar dengan asumsi penggunaan bahan dan jenis konduktor untuk setiap saluran adalah sama.

Kekurangan jaringan distribusi radial adalah kualitas pelayanan daya dan kontinuitas pelayanan yang kurang baik. Kualitas daya yang kurang baik disebabkan oleh rugi-rugi tegangan dan daya yang relatif besar. Hal tersebut dipengaruhi oleh besaran nilai impedansi dan arus

yang melewati saluran. Kontinuitas pelayanan yang kurang baik disebabkan karena jaringan distribusi radial hanya memiliki satu alternatif saluran yang dapat menghubungkan pembangkit dengan beban yang ditanggung. Hal ini menyebabkan ketika terjadi gangguan pada suatu area, maka area sesudahnya juga akan menanggung gangguan yang terjadi.

2.3. Rekonfigurasi jaringan

Dalam jaringan distribusi, kualitas penyaluran energi listrik harus terjaga dengan baik. Apabila terjadi kendala maka perlu dilakukan suatu tindakan yang secara cepat dapat mengatasi masalah tersebut. Kendala yang sering terjadi dalam jaringan distribusi dapat mengakibatkan kontinuitas penyaluran energi listrik terganggu karena daya listrik yang hilang cukup besar. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu tindakan untuk mengurangi rugi – rugi daya yang terjadi dalam proses penyaluran energi listrik pada jaringan distribusi. Salah satu caranya adalah dengan mengatur ulang konfigurasi jaringan tersebut.

Pada dasarnya, rekonfigurasi jaringan merupakan permasalahan mengenai optimasi kombinatorial dimana kemungkinan kombinasi terbaik dengan mengatur status (open/close) dari sectionalizing dan tie switch yang harus ditemukan sehingga fungsi tujuan dapat diminimalkan. Tujuan umum dilakukannya rekonfigurasi jaringan adalah untuk mengurangi rugi daya dan mengurangi deviasi tegangan. Konfigurasi ulang jaringan memungkinkan sistem untuk melayani beban yang sama untuk memperoleh beban dengan kerugian daya yang lebih sedikit dalam sistem. Hal ini juga dapat menurunkan kelebihan beban dalam jaringan dan mencegah adanya ketidakseimbangan beban. Konfigurasi ulang jaringan adalah cara yang efektif untuk meningkatkan kualitas daya dalam sistem dan meningkatkan keandalan tegangan listrik di sisi pengguna. Jaringan distribusi listrik dibangun sebagai jaringan yang saling berhubungan dan menyatu. Namun, jaringan tersebut diatur untuk beroperasi menjadi radial. Konfigurasi tersebut dapat bervariasi dengan operasi switching manual atau otomatis sehingga semua beban dapat terlayani dan dapat mengurangi daya yang hilang.

Secara umum, konfigurasi ulang jaringan adalah masalah optimasi nonlinier multi-objektif. Karena pada kenyataannya, sectionalizing switch dalam jaringan distribusi memiliki jumlah yang sangat banyak, sebagian besar metode yang digunakan untuk melakukan rekonfigurasi

jaringan ini adalah menggunakan metode pendekatan berdasarkan teori evolusi atau heuristik.

Dalam kondisi operasi normal, rekonfigurasi jaringan dilakukan untuk mengurangi rugi – rugi daya dan mendapatkan pembebanan yang seimbang untuk mencegah terjadinya kelebihan beban atau ketidakseimbangan beban pada jaringan. Pada tugas akhir ini, rekonfigurasi jaringan dilakukan secara simultan dengan penempatan DG untuk memperoleh rugi daya terkecil pada sistem distribusi radial tiga fasa.



BAB 3

ALIRAN DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL DAN PROSES OPTIMASI MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

3.1 Aliran Daya pada Sistem Distribusi Radial

Sistem distribusi radial memiliki bus sisi kirim dan sisi terima (bus i dan j) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Garis yang menghubungkan dua segmen ini memiliki impedansi ($Z = r + jx$). Aliran daya di bus i ($S_i = P_i + jQ_i$) berbeda dengan bus j ($S_j = P_j + jQ_j$). Begitu juga dengan besar tegangan dan sudut fase yang terkait dengan setiap bus (V_i , δ_i , V_j and δ_j). Algoritma aliran daya menyelesaikan persamaan keseimbangan tegangan di setiap bus dan untuk mendapatkan tegangan yang sesuai. Pada bus beban (PQ bus), tegangan bus dan sudut fasanya dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_j^2 = -[rP_j + xQ_j - V_i^2/2]^2 + (-[rP_j + xQ_j - V_i^2/2]^2 - [r^2 + x^2][P_j^2 + Q_j^2])^{(1/2)} \quad (3.1)$$

$$\delta_j = \delta_i - \sin^{-1}[xP_j - rQ_j]/[V_i V_j] \quad (3.2)$$

Untuk bus generator (PV bus), daya reaktif dan sudut fase bus diselesaikan dengan algoritma aliran daya yang sama. Sedangkan rugi daya nyata dan reaktif dapat dihitung

$$P_{\text{loss-ij}} = r (P_i^2 + Q_i^2)/V_j^2 \quad (3.3)$$

$$Q_{\text{loss-ij}} = x (P_i^2 + Q_i^2)/V_j^2 \quad (3.4)$$

Sebelum tegangan fase sudut bus sisi kirim dihitung, perhitungan nilai dari daya reaktif pada bus sisi terima adalah

$$Q_j = -2 V_j^2 x + ((2 V_j^2 x)^2 - 4 (r^2 + x^2) (V_j^4 V_i^2 V_j^2 + (r^2 + x^2) P_j^2 + 2 V_j^2 P_j^r))^{(1/2)} / 2 (r^2 + x^2) \quad (3.5)$$



Gambar 3.1 Ilustrasi jaringan

Proses penyelesaian aliran daya pada sistem distribusi radial ini menggunakan metode K-Matrik dan Z_{BR} . Metode ini digunakan untuk melakukan perhitungan aliran daya yang cepat pada RDS sehingga dapat digunakan melakukan analisa dan optimasi, khususnya agar dapat mengakomodir sistem tiga fasa dalam keadaan tidak seimbang. Selain itu, perlu adanya rekayasa perhitungan secara matematik menggunakan beberapa cara kalkulasi dan pemodelan sistem.

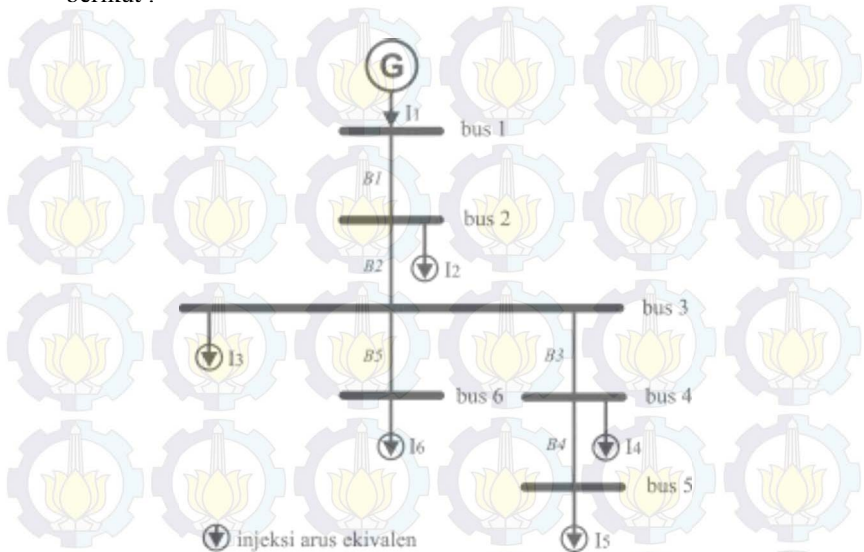
3.2 Metode K-Matrik dan Z_{BR}

Dalam perkembangan analisis aliran daya pada sistem distribusi menggunakan metode *forward-backward*, terdapat beberapa pengembangan yang telah dilakukan untuk menambah kekakuratan, kemudahan dan kecepatan perhitungan analisis. Sehingga hasil nilai yang didapatkan dapat digunakan untuk melakukan analisa dan optimasi.

3.2.1 Metode Z_{BR}

Untuk melakukan analisis aliran daya sistem distribusi dengan sistem yang kompleks menggunakan metode *forward-backward*, diperlukan modifikasi perhitungan untuk memudahkan proses iterasi dan membentuk persamaan. Salah satu metode yang dikembangkan adalah metode Z_{BR} . Metode Z_{BR} adalah metode yang digunakan untuk membentuk persamaan aliran daya dengan menyusun impedansi saluran distribusi radial dalam suatu matrik untuk menghitung drop tegangan. Sebelum membentuk matrik Z_{BR} , digunakan metode *network topology* untuk mendapatkan persamaan analisis aliran daya. Maka dari analisis ini didapatkan nilai yang diperlukan dalam perhitungan. Beberapa hasil perhitungan yang diperlukan adalah tegangan, arus, dan rugi daya. Setelah itu bisa dilakukan optimasi sesuai yang diinginkan dari hasil penelitian ini

Salah satu contoh pembentukan persamaan aliran daya adalah sebagai berikut :



Gambar 3.3 Single line diagram contoh analisis menggunakan metode *network topology*

Sebuah sistem distribusi sederhana dengan model rangkaian radial murni disuplai dari satu sumber pada *infinite bus* menyuplai beban yang tersebar dengan jalur tertentu. Maka didapatkan persamaan sederhana sebagai berikut :

$$B_5 = I_6$$

$$B_4 = I_5$$

$$B_3 = I_4 + I_5$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

Persamaan injeksi arus ke bus di atas dapat diringkas perhitungan selanjutnya dengan menggunakan matrik.

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix}$$

Persamaan matrik di atas dapat dirumuskan menjadi model persamaan dengan komponen matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*).

$$[B] = [BIBC][I]$$

Kemudian dibentuk persamaan untuk mencari nilai drop tegangan berdasarkan jalur injeksi arusnya.

$$V_2 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12}$$

$$V_3 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23}$$

$$V_4 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34}$$

$$V_5 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45}$$

$$V_6 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} - B_5 \cdot Z_{26}$$

Maka drop tegangan dapat dihitung menjadi sebagai berikut :

$$V_1 - V_2 = B_1 \cdot Z_{12}$$

$$V_1 - V_3 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23}$$

$$V_1 - V_4 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34}$$

$$V_1 - V_5 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45}$$

$$V_1 - V_6 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} - B_5 \cdot Z_{26}$$

Persamaan di atas dapat dibentuk dan diselesaikan menggunakan suatu bentuk matrik dengan komponen matrik BCBV (*Branch Current to Branch Voltage*).

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix}$$

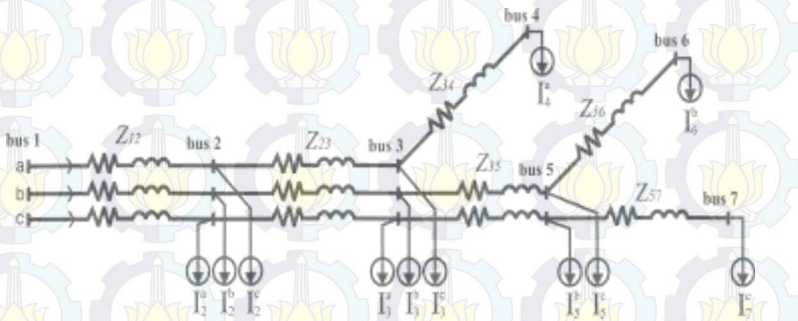
$$[\Delta V] = [BCBV][B]$$

Sehingga, untuk mendapatkan nilai ΔV didapatkan persamaan akhir sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I]$$

$$[\Delta V] = [DLF][I]$$

Untuk melakukan analisis aliran daya tiga fasa, persamaan disusun dengan langkah-langkah yang sama. Untuk metode Z_{BR} , cara menghitung drop tegangan dilakukan per fasa dengan mengubah dimensi matrik menjadi 3 kali lipat karena digunakan untuk menghitung 3 rangkaian fasa. Matrik Z_{BR} merupakan matrik yang merepresentasikan impedansi saluran tiga fasa yang dibentuk dengan menelusuri jalur arus mengalir ke beban dan dikonversikan ke dalam matrik sesuai dengan nilai impedansi.



Gambar 3.4 Contoh rangkaian 3 fasa untuk membentuk matrik Z_{br}

Dari contoh rangkaian 3 fasa di atas, dapat dibentuk matrik untuk menghitung injeksi arus menggunakan matrik BCBV.

$$Z_{BR} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} & 0 & 0 & 0 \\ \begin{bmatrix} Z_b & 0 \\ 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_b & 0 \\ 0 & Z_c \end{bmatrix} & 0 & \begin{bmatrix} Z_b & 0 \\ 0 & Z_c \end{bmatrix} & 0 & 0 \\ \begin{bmatrix} Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} & 0 & \begin{bmatrix} Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} & 0 \\ \begin{bmatrix} Z_c \\ Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_c \\ Z_c \end{bmatrix} & 0 & \begin{bmatrix} Z_c \\ Z_c \end{bmatrix} & 0 & \begin{bmatrix} Z_c \\ Z_c \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

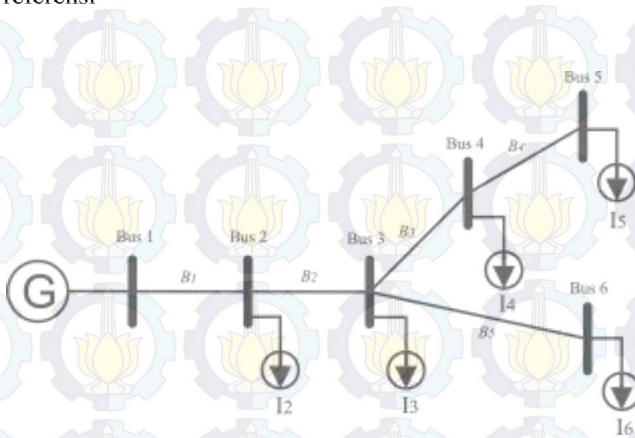
3.2.2 Metode K-matrik

Analisis aliran daya pada sistem distribusi menggunakan metode *forward-backward* memiliki keefektifan dalam menghitung nilai tegangan pada tiap bus. Namun, apabila diterapkan dalam sistem yang kompleks dan rumit dibutuhkan metode pengembangan lebih lanjut. Metode Z_{BR} merupakan metode pengembangan yang dapat memudahkan analisis untuk melakukan studi aliran daya. Dengan menyederhanakan pembentukan matrik impedansi saluran distribusi dapat mempercepat perhitungan studi aliran daya. Namun apabila metode Z_{BR} digunakan untuk melakukan analisis aliran daya pada sistem tiga fasa, diperlukan satu matrik yang digunakan untuk mendefinisikan jalur saluran tiga fasa. Misalkan dalam satu bus hanya terdapat dua fasa atau hanya satu fasa diperlukan pendefinisian manakah fasa yang hilang dalam bus tersebut.

Metode K-matrik merupakan metode pembentukan matrik impedansi dengan melakukan penelusuran alur/*path* saluran distribusi. Jalur saluran distribusi direpresentasikan dalam sebuah matrik yang menunjukkan arah arus injeksi dari suatu bus ke bus yang lain. Gambar di bawah adalah single line diagram untuk sistem yang sama dengan contoh single line diagram pada analisis aliran daya menggunakan metode Z_{BR} . Untuk membentuk K-matrik digunakan aturan penelusuran jalur.

- $k_{ij} = 1$, jika cabang i berada pada jalur antara bus j dan bus referensi dan memiliki arah yang sama
- $k_{ij} = -1$, jika cabang i berada pada jalur antara bus j dan bus referensi dan memiliki arah yang berlawanan

- $kij = 0$, jika cabang i tidak berada pada jalur antara bus j dan bus referensi



Gambar 3.5 Single line diagram contoh analisis menggunakan metode K-matrik

Maka untuk contoh single line diagram di atas, K-matrik-nya adalah :

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{ccccc}
 & \text{bus2} & \text{bus3} & \text{bus4} & \text{bus5} & \text{bus6} \\
 \begin{array}{l} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{array} & \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}
 \end{array}
 \end{array}$$

Pada contoh sebelumnya, dapat disimpulkan persamaan menghitung drop tegangan.

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I]$$

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix}$$

Apabila kita amati bentuk dan komposisi dari matrik BIBC, terdapat persamaan komposisi matrik. Matrik BIBC memiliki komponen yang nilainya berlawanan dengan setiap komponen K-matrik. Sehingga dapat dirumuskan hubungan antara K-matrik dan BIBC sebagai berikut ;

$$[BIBC] = -[K - \text{matrik}]$$

Sedangkan bila matrik BIBC kita transpose komposisinya maka akan terbentuk matrik yang berkorelasi dengan matrik BCBV.

$$BIBC' = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Apabila matrik BIBC' dikalikan per komponen (perkalian dot) dengan matrik impedansi *full branch*, maka akan didapatkan matrik BCBV.

$$BCBV = -[K - \text{matrik}]' \cdot [ZF_{BR}]$$

$$BCBV = - \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}' \cdot \begin{bmatrix} Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \end{bmatrix}$$

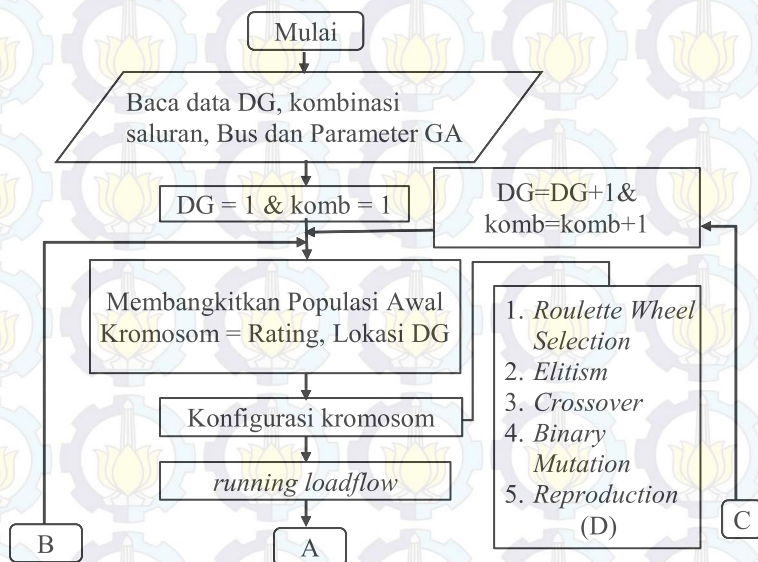
Sehingga, untuk metode K-matrik dapat disimpulkan formula mencari drop tegangan di tiap saluran.

$$[\Delta V] = -[K] \times -[K]' \cdot [ZF_{BR}] \times [$$

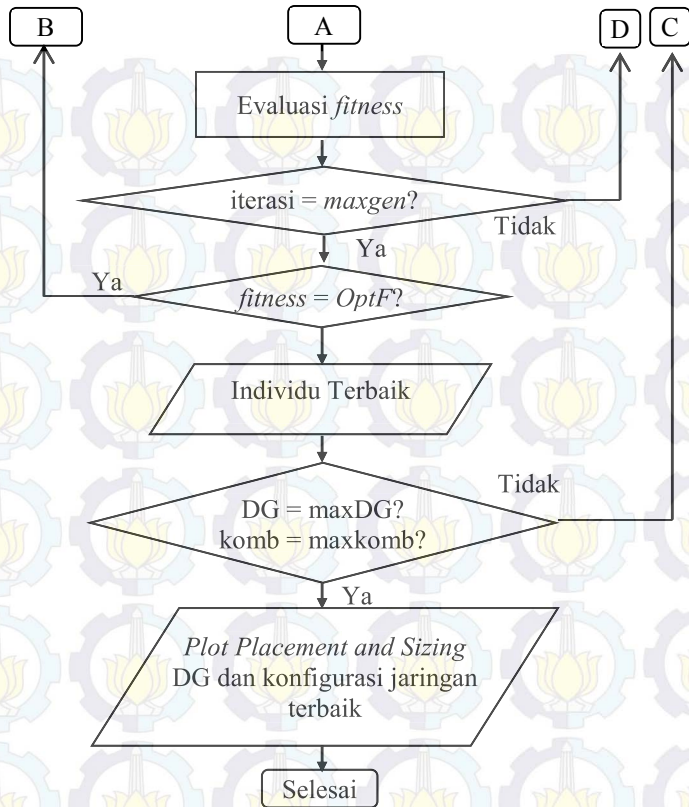
3.3 GA untuk Memaksimalkan Daya Aktif DG

Tujuan GA dalam tugas akhir ini adalah untuk menemukan rekonfigurasi jaringan dan lokasi pemasangan DG yang tepat agar daya aktif yang dikeluarkan oleh DG dapat maksimal. Artinya, GA

dalam hal ini adalah masalah maksimasi suatu fungsi f . Memaksimalkan keluaran daya aktif DG pada sistem dilakukan dengan mempertimbangkan batas tegangan yang diijinkan pada setiap bus. Untuk lebih jelasnya, berikut adalah diagram alir dari proses optimasi menggunakan algoritma genetika pada tugas akhir ini.



Gambar 3.6 Diagram alir proses optimasi



Gambar 3.7 Diagram alir proses optimasi (lanjutan)

Secara garis besar, diagram alir tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

Variabel awal dan input data diperlukan untuk memulai algoritma GA. Data yang harus didefinikan antara lain :

1. Inisialisasi berupa populasi dari kumpulan individu yang dibangkitkan secara acak, dalam populasi tersebut berisi jumlah kromosom yang akan dipakai pada GA.
2. Evaluasi kebugaran atau evaluasi setiap individu $f(x)$ dari masing-masing kromosom x dalam populasi.

3. Membuat populasi baru dengan mengulangi langkah-langkah berikut sampai populasi baru selesai.

[a] [Seleksi] Pilih dua kromosom induk dari populasi sesuai dengan kebugaran mereka (baik kebugaran, semakin besar kesempatan untuk dipilih).

[b] [Crossover] Dengan probabilitas crossover, induk crossover membentuk keturunan baru (anak-anak). Jika tidak ada crossover dilakukan, keturunan adalah Salinan dari orang tua.

[c] [Mutasi] Dengan probabilitas mutasi, bermutasi keturunan baru pada setiap lokus (posisi dalam kromosom).

[d] [Reproduksi] Menempatkan keturunan baru pada populasi baru.

4. Gunakan populasi yang dihasilkan individu baru untuk menjalankan proses selanjutnya.

5. Jika kondisi akhir terpenuhi, berhenti, dan kembali solusi terbaik dalam populasi saat ini.

6. Lanjut ke langkah 2.

3.3.1. Pengkodean Kromosom

Pengkodean dilakukan untuk membentuk individu awal. Individu merupakan kumpulan gen dalam sistem algoritma genetik bisa dikatakan sama dengan kromosom. Gen ini bisa berbentuk *biner*, *float*, ataupun kombinatorial. Individu dalam algoritma genetik dapat juga menyatakan salah satu kemungkinan solusi yang dicari [10].

Terdapat tiga tipe pengkodean gen yang paling umum digunakan, yaitu:

a. Tipe I (*Real-Number Encoding*)

Pada skema pengkodean ini, nilai gen berada pada interval $[0, R]$, dimana R adalah bilangan *real* positif dan biasanya $R = 1$.

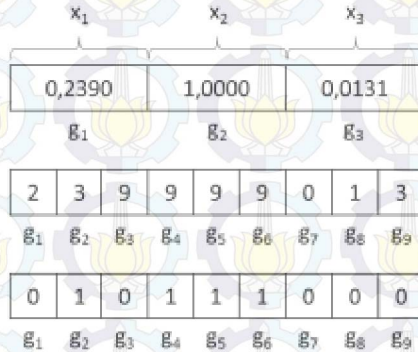
b. Tipe II (*Discrete Desimal Encoding*)

Setiap gen bisa memiliki nilai salah satu bilangan bulat dalam interval $0 - 9$.

c. Tipe III (*Binary Encoding*)

Setiap gen hanya bisa bernilai 0 atau 1.

Jadi dari hal tersebut dapat disimpulkan bahwa secara umum gen dapat direpresentasikan dalam bentuk bilangan biner (*binary encoding*), bilangan *real* atau *float* (*real or float encoding*), maupun bilangan desimal (*discrete decimal encoding*).



Gambar 3.8 Jenis skema pengkodean [10]

Pada Gambar 3.9, x_1 , x_2 , dan x_3 merupakan variabel yang akan dikodekan kedalam sebuah kromosom yang terdiri dari 3 gen untuk tipe I, 9 gen untuk tipe II dan 9 gen untuk tipe III. Pada tipe II dan tipe III masing variabel dikodekan ke dalam 3 gen. Pada tipe I, sebuah gen g digunakan untuk mempresentasikan suatu bilangan real antara 0 sampai 1. Dengan menggunakan suatu interval tertentu, batas bawah r_b dan batas atas r_a , pengkodean dapat dilakukan dengan cara:

$$x = r_b + g(r_a - r_b) \quad (2.1)$$

Sedangkan pendekodean untuk tipe II adalah:

$$x = r_b + (r_a - r_b)(g_1 \times 10^{-1} + g_2 \times 10^{-2} + \dots + g_N \times 10^{-N}) \quad (2.2)$$

Dan prosedur pendekodean untuk tipe III adalah:

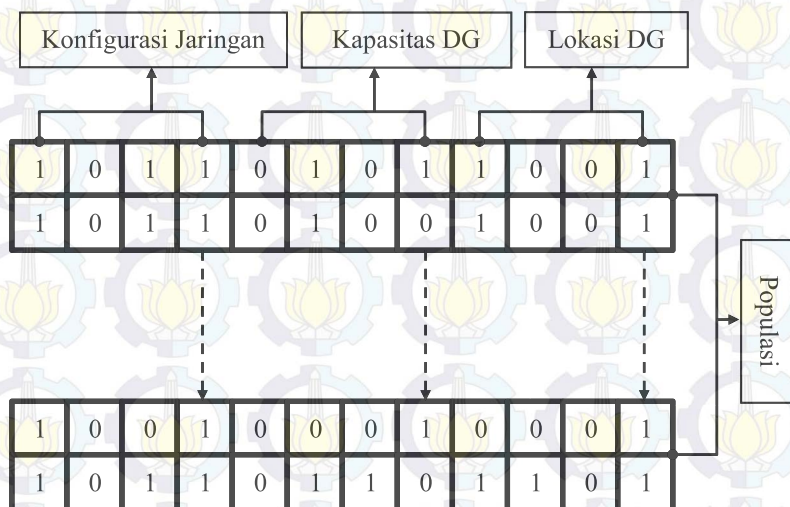
$$x = r_b + (r_a - r_b)(g_1 \times 2^{-1} + g_2 \times 2^{-2} + \dots + g_N \times 2^{-N}) \quad (2.3)$$

Dengan N adalah jumlah gen dalam kromosom atau yang dalam penggunaan algoritma pemrograman dalam bahasa sehari-hari disebut sebagai panjang kromosom.

Setiap unit DG diwakili oleh S string biner dari 8 bit gen dalam satu kromosom. Keempat bit awal mewakili kapasitas unit DG, sedangkan 4 bit sisanya mewakili daya keluaran DG. Sesuai dengan

rating daya keluaran ICE, maka daya keluaran yang mampu dihasilkan adalah antara 1 – 10 MW. Sedangkan lokasi penempatan DG dikodekan menurut jumlah bus sistem yang digunakan. Setiap bus diwakili oleh *L string biner* dari 4 bit untuk 14 bus dan 5 bit untuk 30 bus.

Pembentukan kromosom dilakukan dengan menggabungkan *string S* dan *L* menjadi satu *array gen* individu yang terdiri dari 12 *bit* (untuk sistem 14 bus) dan 13 *bit* (untuk sistem 30 bus). Nilai masing-masing elemen kromosom (*gen*) dibangkitkan secara acak menggunakan *software* MATLAB 2009a. Sehingga diperoleh ilustrasi representasi kromosom seperti gambar berikut.



Gambar 3.9 Populasi awal DG dalam GA

3.3.2. Pembangkitan Populasi Awal

Unit DG yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan standar yang dimiliki oleh *Electric Power Research Institute* (EPRI), yaitu DG dengan kapasitas 1 – 10 MW. Sehingga nilai *biner* yang akan dikodekan dalam proses selanjutnya akan dikembalikan dalam nilai MW pembangkitan DG sesuai dengan standarisasi yang telah

disepakati tersebut. Beberapa parameter yang digunakan untuk membangkitkan populasi awal adalah:

1. n_{DG} : Jumlah pembangkit tersebar (DG)
2. n_{Bit} : Jumlah *gen* dalam satu unit DG
3. n_{Gen} : Jumlah *gen* dalam satu individu atau kromosom
4. u_{pop} : Jumlah individu dalam populasi
5. n_{Bus} : Jumlah bus sistem yang digunakan

Kromosom dibentuk berdasarkan aturan pengkodean seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya. Pembentukan kromosom dilakukan dengan menggabungkan *string S* dan *L* menjadi satu *array gen* individu yang terdiri dari 12 *bit* (untuk sistem 14 bus) dan 13 *bit* (untuk sistem 30 bus). Nilai masing-masing elemen kromosom (*gen*) dibangkitkan secara acak menggunakan *software* MATLAB 2009a.

Bagian pertama merupakan jenis daya unit DG yang dapat diinjeksikan ke sistem seperti yang telah dibahas sebelumnya dan bagian kedua berisi kode daya keluaran DG dalam batas-batas yang telah didefinisikan, sedangkan bagian ketiga merupakan representasi lokasi penempatan DG, yaitu mulai dari nomor bus terkecil (bus pertama) hingga nomor bus yang paling besar (bus terakhir). Untuk memperoleh semua populasi awal yang dibutuhkan, operasi diatas diulang sebanyak n_{Ind} kali. Gambar 3.8 memperlihatkan visualisasi dari seluruh populasi yang akan dibangkitkan.

3.3.3. Evaluasi Individu

Perhitungan *fitness* masing-masing individu dilakukan berdasar-kan fungsi-fungsi tujuan yang ingin dicapai dalam penempatan dan penentuan kapasitas optimal DG ini. Seperti yang telah dibahas dalam subbab sebelumnya, ada dua fungsi tujuan yang akan dievaluasi untuk setiap individu, yaitu penghematan BBM (fungsi *FSDG*) dan cadangan berputar atau *spinning reserve* (fungsi *SRDG*). Setiap individu akan menghasilkan nilai *fitness* yang berbeda. Individu dengan nilai *fitness* masing-masing ini akan digabungkan dalam satu *array* dan diurutkan menurut aturan *non-domination sorting* dan *crowding distance* sehingga didapatkan individu-individu dengan peringkat yang terbaik hingga peringkat terburuk untuk proses seleksi.

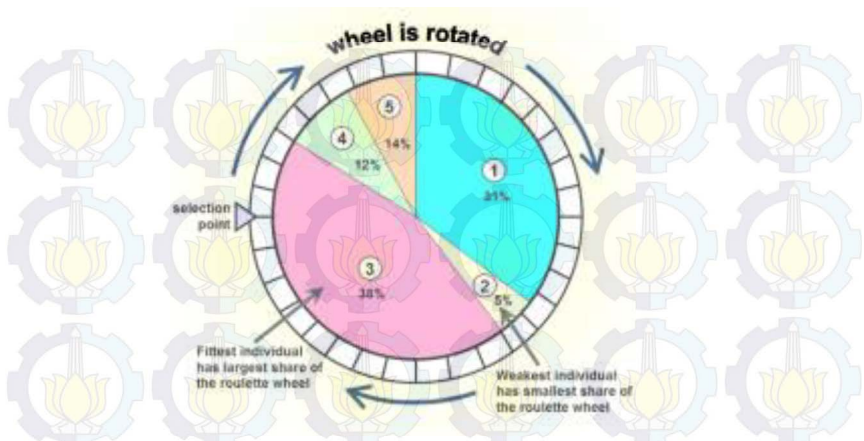
3.3.4. Seleksi Menggunakan *Roulet Wheel*

Seleksi dilakukan untuk memberikan kesempatan reproduksi yang lebih baik bagi individu yang paling baik (berada pada *front* pertama dengan *crowding distance* terbesar). Seleksi akan menentukan individu-individu mana saja yang akan terpilih untuk melakukan pindah silang (*crossover*) dan bagaimana anak (*offspring*) akan terbentuk dari individu-individu yang terpilih tersebut.

Langkah pertama yang dilakukan pada seleksi ini adalah pencarian semua individu yang berada pada *front* pertama. Pada GA, seleksi hanya dilakukan untuk individu-individu tersebut (kumpulan individu yang merupakan solusi utama). Kemudian, masing-masing individu dalam suatu wadah seleksi akan menerima probabilitas reproduksi sesuai dengan nilai objektif individu tersebut, yang dapat dibandingkan dengan melihat nilai *crowding distance* antar individu dalam *front* pertama. Nilai *crowding distance* setiap individu akan dibandingkan dengan nilai *crowding distance* dari semua individu dalam wadah seleksi tersebut.

Dari beberapa metode seleksi yang ada, pada penelitian ini digunakan metode seleksi *roulette wheel* yang merupakan metode seleksi yang paling sederhana. Metode ini menirukan permainan roda *roulette*, masing-masing kromosom menempati potongan lingkaran pada roda rolet secara proporsional sesuai dengan nilai perbandingan *crowding distance* tersebut. Kromosom yang memiliki nilai lebih besar menempati potongan lingkaran yang lebih besar dibandingkan dengan kromosom yang memiliki lebih rendah. Sehingga kemungkinan akan ada kromosom yang terpilih lebih dari satu kali. Kromosom yang terbaik akan mampu untuk berkembang lebih banyak lagi, sedangkan kromosom yang jelek akan mati.

Algoritma seleksi menggunakan dalam roda *roulette* dapat dilakukan dengan menentukan interval nilai kumulatif *crowding distance* dari masing-masing individu, dibagi nilai total *crowding distance* dari semua individu dalam *front* pertama pada interval tersebut. Kromosom akan terpilih jika bilangan *random* yang dibangkitkan berada dalam interval kumulatifnya.



Gambar 3.10 Metode seleksi dengan *Roulette Wheel*

Kromosom – kromosom yang bagus tersebut akan diseleksi untuk menjadi satu pasang orang tua. Setelah terseleksi maka kromosom yang terpilih menjadi orang tua akan melanjutkan proses pindah silang. Pada metode AG standar kromosom yang tidak terpilih akan dibuang dari proses pencarian solusi sedangkan pada metode GA kromosom yang gagal terpilih akan disimpan untuk mengikuti proses pencarian solusi generasi selanjutnya.

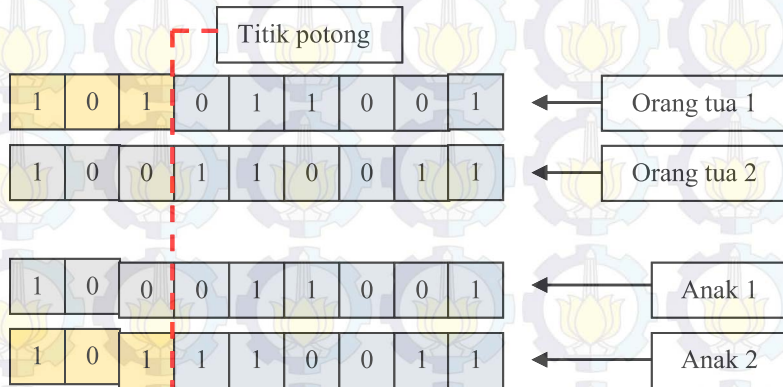
3.3.5. Pindah Silang

Pindah silang (*crossover*) merupakan operator genetik yang paling utama dalam pembentukan individu baru. Tujuan utama pindah silang adalah untuk mengatur ulang informasi dari dua individu yang berbeda dan membuat individu baru. Dalam penelitian ini, metode pindah silang yang digunakan adalah *one-point crossover*, yaitu pindah silang titik potong tunggal. Metode ini dipilih karena panjang kromosom yang akan mengalami pindah silang tidak terlalu besar. Pemilihan titik potong dilakukan secara random dan probabilitas pindah silang yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,9.

Mekanisme pindah silang melibatkan dua individu yang telah teruji nilai *fitness*-nya dan telah berhasil melewati proses seleksi. Sebuah kromosom yang mengarah pada solusi yang bagus

bisa diperoleh dari proses pindah silang antara dua buah kromosom. Kromosom-kromosom dengan kondisi yang baik tersebut melakukan pertukaran gen sehingga dimungkinkan terbentuk individu baru yang lebih baik.

Proses pindah silang secara sederhana hanya merupakan pertukaran gen antara dua kromosom induk, untuk lebih jelasnya, perhatikan contoh gambar dibawah ini.



Gambar 3.11 Mekanisme pindah silang

Pindah silang bisa juga berakibat buruk jika ukuran populasinya sangat kecil. Dalam suatu populasi yang sangat kecil, suatu kromosom dengan gen-gen yang mengarah ke solusi akan sangat cepat menyebar ke kromosom-kromosom lainnya. Untuk mengatasi masalah ini digunakan suatu aturan bahwa pindah silang hanya bisa dilakukan dengan suatu probabilitas tertentu P_c . Artinya pindah silang bisa dilakukan hanya jika suatu bilangan *random* (0,1) yang dibangkitkan kurang dari nilai P_c yang ditentukan. Pada umumnya, nilai P_c diatur mendekati 1, misalnya 0,8.

3.3.6. Mutasi

Mutasi dilakukan dengan mengubah gen yang terpilih secara acak dengan nilai baru. Pada *binary encoding*, nilai yang baru tersebut adalah nilai kebalikan dari gen yang terpilih, misalnya nilai 0 diubah menjadi 1 atau sebaliknya. Pada *float encoding*, mutasi dilakukan

dengan berbagai metode, misalnya pada *uniform mutation*, pergantian gen dilakukan dengan membangkitkan bilangan random (*uniform probability distribution*) dalam rentang nilai maksimum dan minimum dari gen yang akan digantikan. Hal yang berbeda dilakukan pada mutasi tak seragam (*nonuniform mutation*), penggantian gen dilakukan dengan secara random, tetapi dengan memperhitungkan generasi individu yang akan mengalami mutasi.

Salah satu parameter yang penting dalam mutasi adalah peluang mutasi (p_m) yang didefinisikan sebagai perbandingan jumlah seluruh gen pada populasi yang mengalami mutasi. Pada umumnya, untuk menentukan gen yang akan dimutasi, pertama kali dibangkitkan sejumlah bilangan random sebanyak jumlah gen dalam populasi, apabila nilai $random \leq P_m$ maka gen tersebut terpilih untuk mengalami mutasi. Peluang mutasi mengendalikan banyak gen baru yang akan dimunculkan untuk dievaluasi. Jika peluang mutasi terlalu kecil, banyak gen yang mungkin berguna namun tidak pernah dievaluasi. Tetapi bila peluang mutasi terlalu besar, maka akan terlalu banyak gangguan acak, sehingga akan kehilangan kemiripan dengan induknya dan juga akan kehilangan kemiripan belajar dari histori pencarian.

Prosedur mutasi sangatlah sederhana. Untuk semua gen yang ada, jika bilangan random yang dibangkitkan kurang dari probabilitas mutasi P_m yang ditentukan maka algoritma akan mengubah gen tersebut menjadi nilai kebalikannya (dalam *binary encoding*, 0 diubah 1, dan 1 diubah 0). Biasanya P_m diset sebagai $1/n$, di mana n adalah jumlah gen dalam kromosom. Dengan P_m sebesar ini berarti mutasi hanya terjadi pada sekitar satu gen saja. Pada proses AG sederhana, nilai P_m tetap selama evolusi.

Gambar dibawah ini menggambarkan proses mutasi yang terjadi pada gen g_5 .



Gambar 2.6 Proses mutasi gen

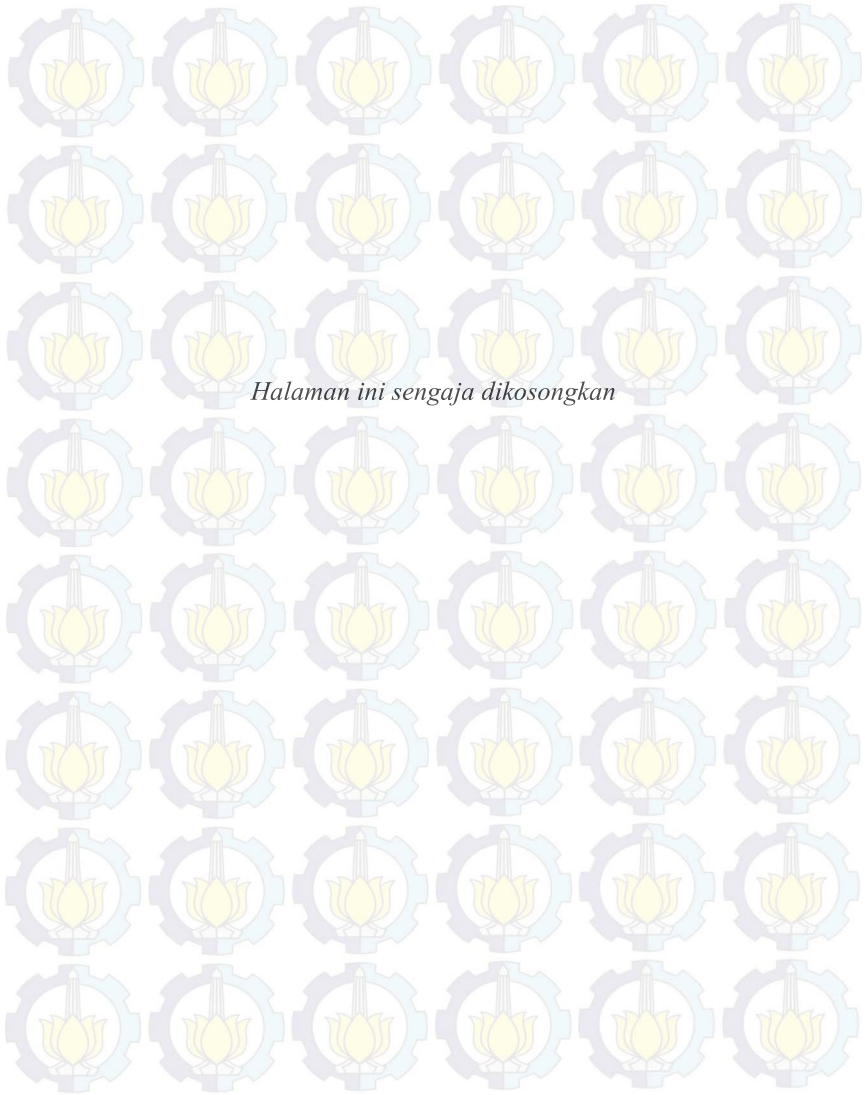
Pada kasus tersebut di atas bilangan random yang dihasilkan lebih kecil daripada probabilitas mutasi P_m terjadi pada gen g_5

sehingga gen g_5 mengalami proses mutasi dengan menjadikan nilai gen tersebut berubah dari 1 menjadi 0.

3.3.7. Konstrain Sistem dan Kondisi Terminasi Algoritma

Sesuai dengan algoritma penelitian dan fungsi evaluasi yang dituju, maka dalam strategi optimasi penempatan dan penentuan kapasitas optimal dari pembangkit tersebar (DG) ini memiliki beberapa batasan (*constraint*) yang harus dipenuhi. Batasan pertama tentunya kapasitas pembangkitan daya dari DG, seperti yang telah didefinisikan dalam metode pengkodean kromosom. Batasan lain yang juga harus diperhatikan menyangkut batas tegangan pada masing-masing bus. Batas tegangan seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya dikalkulasi ketika perhitungan aliran daya dijalankan. Ketika tegangan masing-masing bus sudah tidak berada pada batasan ini, maka iterasi program dihentikan dan solusi terbaik sebelumnya yang menjadi solusi akhir dari optimisasi.

Proses optimasi akan terus dilanjutkan oleh GA hingga jumlah iterasi sama dengan nilai maksimum generasi yang didefinisikan (*maxgen*). Dalam penelitian ini generasi populasi dalam GA akan berhenti pada generasi ke-100. Jumlah yang cukup besar ini diharapkan dapat memadai kebutuhan strategi optimasi untuk mendapatkan nilai yang benar-benar optimal dari sejumlah individu dalam populasi dan proses genetika yang dilakukan



BAB IV HASIL DAN SIMULASI

Bab ini akan membahas mengenai hasil dari simulasi pemaksimalan keluaran daya aktif DG berdasarkan rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG pada sistem IEEE 33 bus. Pada tahap awal akan dilakukan analisa terhadap sistem IEEE 33 bus dalam keadaan normal tanpa adanya penambahan DG dan rekonfigurasi jaringan. Selanjutnya, akan dilakukan analisa terhadap sistem IEEE 33 bus yang sudah ditambahkan DG dengan jumlah pemasangan yang berbeda-beda. Pada tahap akhir analisa akan dilakukan untuk sistem IEEE 33 bus yang telah dilakukan rekonfigurasi dan penambahan DG. Analisa aliran daya yang dilakukan pada tugas akhir ini menggunakan metode *K-Matrik* dan Z_{BR} . Untuk mendapatkan lokasi DG dengan daya aktif yang maksimal digunakan metode GA dengan iterasi sebanyak 100 kali. Parameter yang akan diamati dalam simulasi ini adalah nilai keluaran daya aktif maksimal DG, lokasi penempatan DG dan nilai tegangan pada setiap bus.

4.1. Data Bus dan Saluran IEEE 33 bus

Berikut adalah data dari system IEEE 33 bus yang digunakan dalam simulasi sistem dimodelkan 3 fasa seimbang sehingga memiliki besar impedansi yang sama dari ketiga fasanya.

Tabel 4.1. Data saluran sistem dan beban pada IEEE 33 bus

Branch Number	Sending Bus	Receiving Bus	A/B/C		Nominal Load at Receiving Bus	
			Resistance Ω	Reactance Ω	P	Q
					(kW)	(kVAR)
1	1	2	0,0922	0,047	100	60
2	2	3	0,493	0,2511	90	40
3	3	4	0,366	0,1864	120	80
4	4	5	0,3811	0,1941	60	30
5	5	6	0,819	0,707	60	20
6	6	7	0,1872	0,6188	200	100
7	7	8	0,7144	0,2351	200	100
8	8	9	1,03	0,74	60	20

Lanjutan tabel 4.1

Branch Number	Sending Bus	Receiving Bus	A/B/C		Nominal Load at Receiving Bus	
			Resistance	Reactance	P	Q
			Ω	Ω	(kW)	(kVAR)
10	10	11	0,1966	0,065	45	30
11	11	12	0,3744	0,1298	60	35
12	12	13	1,468	1,155	60	35
13	13	14	0,5416	0,7129	120	80
14	14	15	0,591	0,526	60	10
15	15	16	0,7463	0,545	60	20
16	16	17	1,289	1,721	60	20
17	17	18	0,732	0,574	90	40
18	2	19	0,164	0,1565	90	40
19	19	20	1,5042	1,3554	90	40
20	20	21	0,4095	0,4784	90	40
21	21	22	0,7089	0,9373	90	40
22	3	23	0,4512	0,3083	90	50
23	23	24	0,898	0,7091	420	200
24	24	25	0,896	0,7011	420	200
25	6	26	0,203	0,1034	60	25
26	26	27	0,2842	0,1447	60	25
27	27	28	1,059	0,9337	60	20
28	28	29	0,8042	0,7006	120	70
29	29	30	0,5075	0,2585	200	600
30	30	31	0,9744	0,963	150	70
31	31	32	0,3105	0,3619	210	100
32	32	33	0,341	0,5302	60	40

Dari data jaringan IEEE 33 bus di atas terlihat beberapa bus mengalami *under voltage*. Pemasangan DG dan rekonfigurasi jaringan dapat meningkatkan profil tegangan. Namun, pemasangan DG dan rekonfigurasi jaringan pada system distribusi juga dapat memungkinkan tegangan pada bus mengalami *over voltage* sehingga perlu dilakukan penetapan lokasi pemasangan dan kapasitas yang boleh terpasang.

4.2. Hasil Load Flow IEEE 33 bus

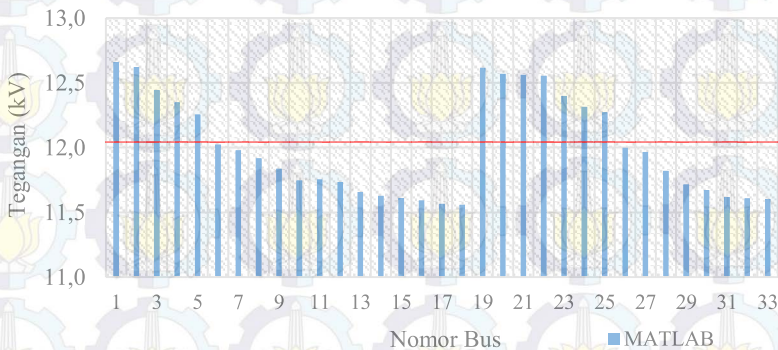
Tabel 4.2. Data tegangan IEEE 33 bus

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
1	12,660	0	1
2	12,622	0,014	0,99
3	12,444	0,096	0,98
4	12,349	0,162	0,97
5	12,256	0,228	0,96
6	12,023	0,134	0,94
7	11,979	-0,096	0,94
8	11,917	-0,06	0,94
9	11,838	-0,133	0,93
10	11,746	-0,196	0,92
11	11,753	-0,188	0,92
12	11,734	-0,177	0,92
13	11,657	-0,268	0,92
14	11,628	-0,347	0,91
16	11,593	-0,408	0,91
17	11,567	-0,485	0,91
18	11,560	-0,495	0,91
19	12,616	0,004	0,99
20	12,570	-0,063	0,99
21	12,562	-0,083	0,99
22	12,554	-0,103	0,99

Lanjutan tabel 4.2

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
23	12,399	0,065	0,97
24	12,314	-0,024	0,97
25	12,272	-0,067	0,96
26	11,998	0,173	0,94
27	11,966	0,229	0,94
28	11,821	0,312	0,93
29	11,717	0,39	0,92
30	11,672	0,496	0,92
31	11,619	0,411	0,91
32	11,608	0,388	0,91
33	11,604	0,38	0,91

IEEE 33 BUS



Gambar 4.1. Grafik tegangan sistem IEEE 33 bus

Hasil analisa aliran daya menunjukkan bahwa pada sistem IEEE 33 bus terdapat beberapa bus yang berada pada kondisi *under voltage* yaitu berada diluar rentang tegangan yang diperbolehkan sebesar 12,027 kV hingga 13,293 kV. Pada tabel 4.1 bus yang mengalami kondisi *under voltage* (tegangan bus dibawah 0,95 p.u) ditunjukkan dalam tabel yang berwarna abu-abu. Sedangkan pada gambar 4.1, bus-bus yang mengalami

kondisi *under voltage* adalah bus yang tegangannya berada dibawah garis merah yang menunjukkan nilai 12,027 kV. Berdasarkan data ini maka selanjutnya akan diuji coba peletakan beberapa unit DG dengan kapasitas maksimal 1 MW.

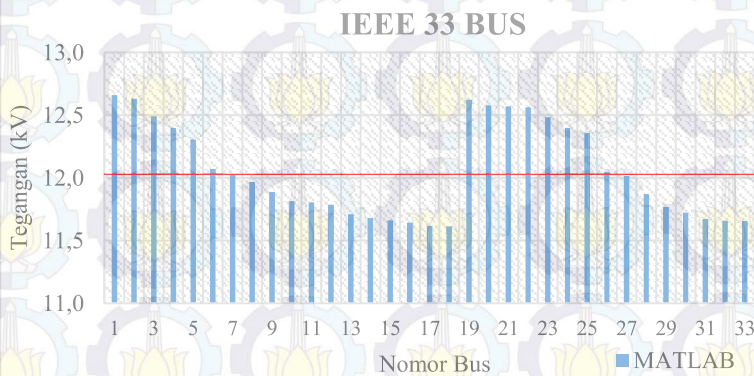
4.3. Hasil Load Flow IEEE 33 bus dengan Penambahan DG

Tabel 4.3. Data tegangan IEEE 33 bus dengan penambahan 1 DG kapasitas 1 MW pada bus 23

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
1	12,660	0	1
2	12,630	0,0310	0,99
3	12,491	0,2040	0,98
4	12,397	0,2690	0,97
5	12,304	0,3350	0,97
6	12,072	0,2410	0,95
7	12,028	0,0130	0,95
8	11,967	0,0490	0,94
9	11,888	-0,0240	0,93
10	11,814	-0,0860	0,93
11	11,804	-0,0780	0,93
12	11,785	-0,0670	0,93
13	11,708	-0,1580	0,92
14	11,679	-0,2360	0,92
15	11,661	-0,2730	0,92
16	11,644	-0,2960	0,91
17	11,618	-0,3730	0,91
18	11,611	-0,3820	0,91
19	12,623	0,0200	0,99
20	12,578	-0,0460	0,99
21	12,569	-0,0660	0,99

lanjutan tabel 4.3

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
22	12,561	-0,0860	0,99
23	12,482	0,2860	0,98
24	12,399	0,1990	0,97
25	12,357	0,1560	0,97
26	12,048	0,2800	0,95
27	12,015	0,3360	0,94
28	11,871	0,4180	0,93
29	11,767	0,4950	0,92
30	11,723	0,6000	0,92
31	11,670	0,5160	0,92
32	11,659	0,4930	0,92
33	11,655	0,4860	0,92



Gambar 4.2. Grafik tegangan IEEE 33 bus dengan penambahan 1 DG kapasitas 1 MW pada bus 23

Pemasangan 1 unit DG dengan kapasitas 1 MW pada bus 23 mampu menghasilkan keluaran daya aktif yang sama besar yaitu 1 MW. Hal ini menunjukkan bahwa keluaran daya aktif DG akan mencapai titik maksimal atau sesuai dengan kemampuan pembangkitan yang dimiliki

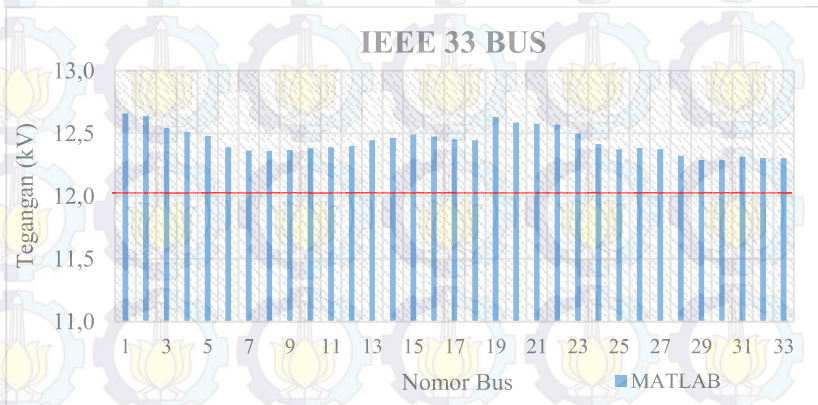
jika ditempatkan pada bus 23. Dampak pemasangan 1 unit DG pada bus 23 mampu memperbaiki sebagian kecil tegangan bus yang sebelumnya berada pada kondisi *critical* menjadi normal. Tegangan bus yang berhasil dinormalkan oleh pemasangan DG adalah bus 6, 7, dan 26.

Tabel 4.4. Data tegangan IEEE 33 bus dengan penambahan 2 DG masing-masing 1 MW

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
1	12,660	0	1
2	12,638	0,0480	0,99
3	12,543	0,3070	0,99
4	12,510	0,5060	0,98
5	12,481	0,7100	0,98
6	12,389	1,1450	0,97
7	12,362	1,1610	0,97
8	12,361	1,2830	0,97
9	12,368	1,4930	0,97
10	12,382	1,7140	0,97
11	12,387	1,7450	0,97
12	12,399	1,8010	0,97
13	12,444	2,1500	0,98
14	12,461	2,3440	0,98
15	12,491	2,5050	0,98
16	12,475	2,4850	0,98
17	12,451	2,4180	0,98
18	12,444	2,4100	0,98
19	12,631	0,0370	0,99
20	12,586	-0,0300	0,99
21	12,577	-0,0490	0,99
22	12,569	-0,0700	0,99
23	12,498	0,2770	0,98
24	12,414	0,1890	0,98

Lanjutan tabel 4.4

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
25	12,372	0,1460	0,97
26	12,382	1,2200	0,97
27	12,374	1,3260	0,97
28	12,321	1,7550	0,97
29	12,288	2,0910	0,97
30	12,286	2,2850	0,97
31	12,315	2,5740	0,97
32	12,304	2,5530	0,97
33	12,301	2,5460	0,97



Gambar 4.3. Data tegangan IEEE 33 bus dengan penambahan 2 DG masing-masing 1 MW

Pemasangan 2 unit DG dengan kapasitas 1 MW pada bus 15 dan 31 mampu menghasilkan keluaran daya aktif yang maksimal dari setiap DG yang digunakan yaitu sebesar 1 MW. Hal ini menunjukkan bahwa keluaran daya aktif DG akan mencapai titik maksimal atau sesuai dengan kemampuan pembangkitan yang dimiliki jika ditempatkan pada bus 15 dan 31. Pemasangan 2 unit DG dengan kapasitas masing-masing DG sebesar 1 MW mampu memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap tegangan pada setiap bus. Hasil analisa aliran daya menunjukkan

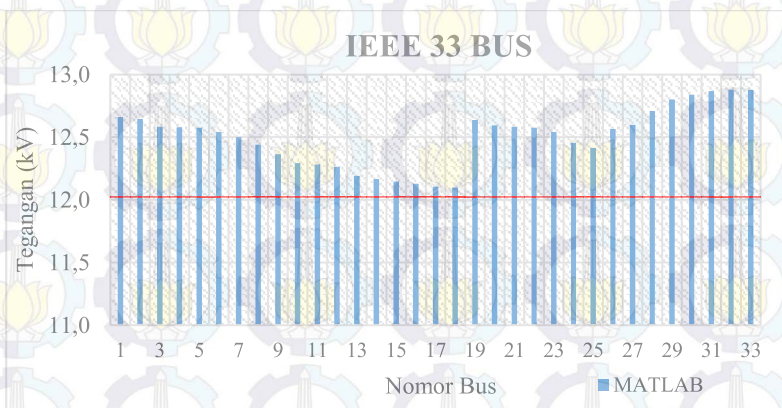
bahwa pemasangan 2 unit DG mampu menormalkan tegangan semua bus yang sebelumnya berada pada kondisi *critical*.

Tabel 4.5. Data tegangan IEEE 33 bus dengan penambahan 3 DG masing-masing 1 MW

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
1	12,660	0	1
2	12,644	0,0650	0,99
3	12,584	0,4190	0,99
4	12,577	0,6860	0,99
5	12,575	0,9620	0,99
6	12,540	1,6430	0,99
7	12,498	1,4320	0,98
8	12,439	1,4650	0,98
9	12,363	1,3980	0,97
10	12,293	1,3410	0,97
11	12,282	1,3480	0,97
12	12,264	1,3580	0,96
13	12,190	1,2740	0,96
14	12,163	1,2030	0,96
15	12,146	1,1680	0,95
16	12,129	1,1470	0,95
17	12,105	1,0760	0,95
18	12,097	1,0680	0,95
19	12,637	0,0540	0,99
20	12,592	-0,0120	0,99
21	12,583	-0,0320	0,99
22	12,575	-0,0520	0,99
23	12,539	0,3880	0,99
24	12,456	0,3020	0,98
25	12,414	0,2590	0,98
26	12,564	1,7930	0,99

lanjutan tabel 4.5

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
27	12,599	2,0030	0,99
28	12,708	3,0780	1
29	12,800	3,8850	1,01
30	12,838	4,1530	1,01
31	12,866	4,4170	1,01
32	12,879	4,5240	1,01
33	12,876	4,5180	1,01



Gambar 4.4. Data tegangan IEEE 33 bus dengan penambahan 3 DG masing-masing 1 MW

LOKASI DG PADA BUS 29, 30, 32

Pemasangan 3 unit DG dengan kapasitas 1 MW pada bus 29, 30 dan 32 mampu menghasilkan keluaran daya aktif yang maksimal dari setiap DG yang digunakan yaitu sebesar 1 MW. Hal ini menunjukkan bahwa keluaran daya aktif DG akan mencapai titik maksimal atau sesuai dengan kemampuan pembangkitan yang dimiliki jika ditempatkan pada bus 29, 30, dan 32. Pemasangan 3 unit DG dengan kapasitas masing-masing DG sebesar 1 MW mampu memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap tegangan pada setiap bus. Hasil analisa aliran daya

menunjukkan bahwa pemasangan 3 unit DG mampu menormalkan tegangan semua bus yang sebelumnya berada pada kondisi *under voltage*.

4.4. Hasil Load Flow IEEE 33 bus dengan Penambahan DG dan Rekonfigurasi Jaringan

Strategi rekonfigurasi dan penempatan DG yang akan dilakukan berdasarkan hasil yang diperoleh pada matlab adalah sebagai berikut :

Lokasi DG 1 pada bus : 30.0
 Kapasitas DG : 0.94 MW
 Lokasi DG 2 pada bus : 27.0
 Kapasitas DG 2 : 0.87 MW
 Lokasi DG 3 pada bus : 33.0
 Kapasitas DG 3 : 1.00 MW
 Switch open : bus 19.0 ke bus 20.0
 Switch open : bus 12.0 ke bus 22.0
 Switch open : bus 13.0 ke bus 14.0
 Switch open : bus 31.0 ke bus 32.0
 Switch open : bus 27.0 ke bus 28.0

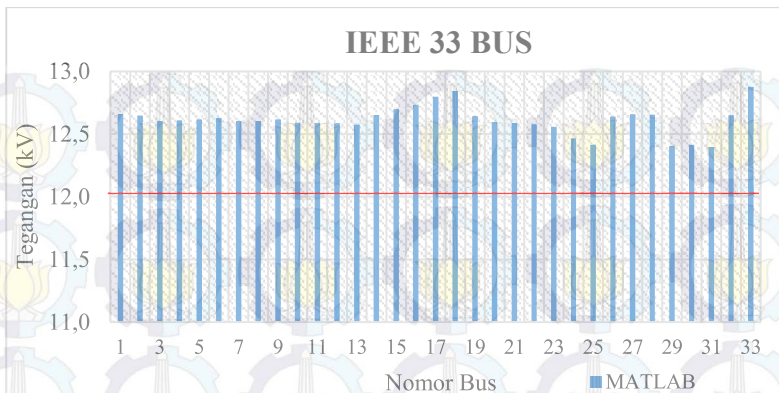
Berdasarkan strategi yang diperoleh dari *running program* pada matlab kemudian disimulasikan pada software etap dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.6. Data tegangan IEEE 33 bus dengan rekonfigurasi jaringan dan penambahan 3 DG

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
1	12,660	0	1
2	12,647	0,0610	0,99
3	12,604	0,3930	0,99
4	12,608	0,5130	0,99
5	12,616	0,6360	0,99
6	12,627	0,9670	0,99
7	12,602	0,9920	0,99

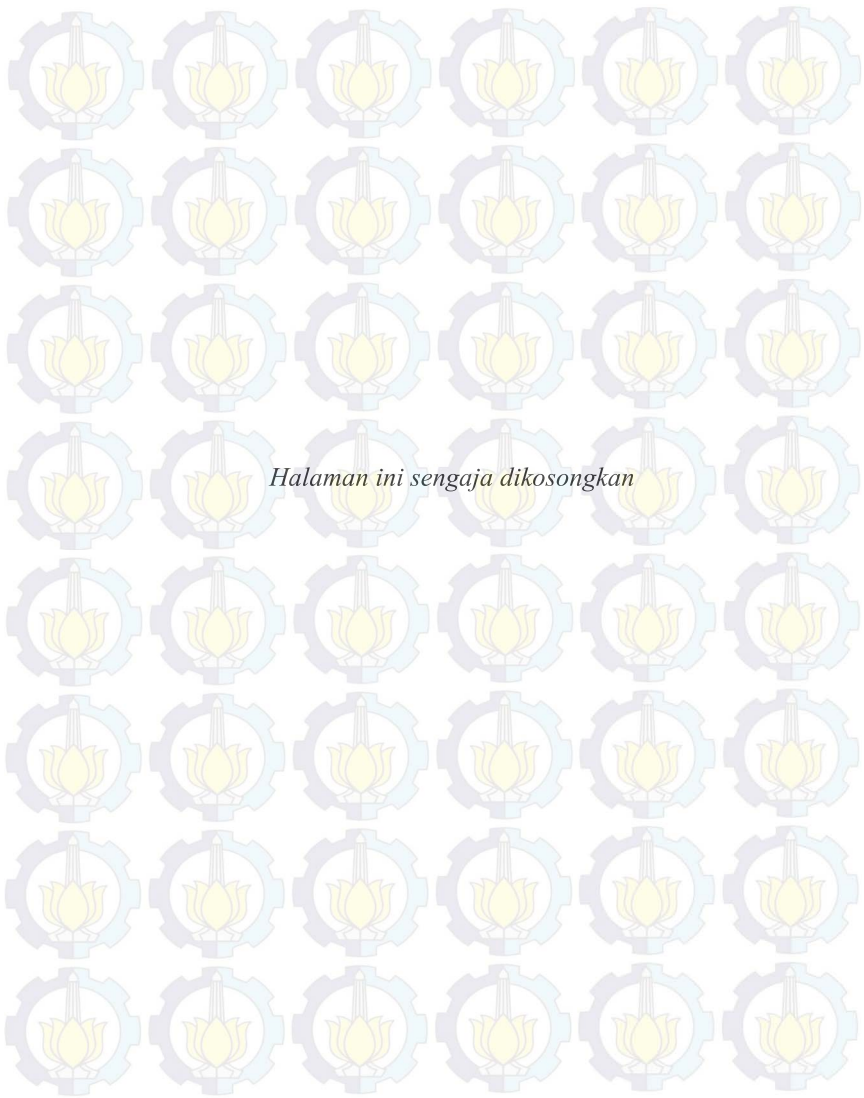
Lanjutan tabel 4.6

Nomor Bus	Tegangan Bus		
	Magnitude (kV)	Degree	p.u
8	12,604	1,1070	0,99
9	12,617	1,3120	0,99
10	12,591	1,2970	0,99
11	12,588	1,3000	0,99
12	12,584	1,3040	0,99
13	12,574	1,2980	0,99
14	12,651	-0,0060	0,99
15	12,697	1,8840	1
16	12,734	2,0580	1
17	12,798	2,5800	1,01
18	12,843	2,7710	1,01
19	12,641	0,0500	0,99
20	12,595	-0,0160	0,99
21	12,587	-0,0360	0,99
22	12,578	-0,0560	0,99
23	12,558	0,5360	0,99
24	12,465	0,8140	0,98
25	12,414	1,1390	0,98
26	12,639	0,9990	0,99
27	12,656	1,0430	0,99
28	12,655	-0,0090	0,99
29	12,403	1,3640	0,97
30	12,413	1,5470	0,98
31	12,396	1,5190	0,97
32	12,650	-0,0280	0,99
33	12,877	2,9400	1,01



Gambar 4.5. Data tegangan IEEE 33 bus dengan rekonfigurasi jaringan dan penambahan 3 DG

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat dilihat bahwa semua tegangan dalam kondisi normal. Tidak semua DG yang dipasang mampu memberikan daya aktif yang optimal ketika dipasang pada jaringan sehingga dengan melakukan rekonfigurasi dan penempatan 3 DG diperoleh keluaran daya aktif DG maksimal yang dapat dipasang pada jaringan adalah sebesar 2,89 MW dengan asumsi kapasitas masing-masing DG sebesar 1 MW.



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S.G. Bharathi Dasan and S.Selvi Ramalakshmi, "Optimal Siting and Sizing of Hybrid Distributed Generation Using EP", Third International Conference on Power System, Kharagpur, India, 2009.
- [2] Taher Abbas Seyed dan Karimi Mohammad Hossein, "Optimal Reconfiguration and DG Allocation in Balance and Unbalance Distribution System", Ain Shams Engineering Journal (2014) 5, 735-749, Mei 2014
- [3] Imran Mohamed, Kowsalya M, Kothari D.P, "A Novel Integration Technique for Optimal Network Reconfiguration and Distributed Generation Placement in Power Distribution Networks", Electrical Power and Energy Systems 63 (2014) 461-472, Juli 2014
- [4] A.A. Bayod Rujula, J. Mur Amada "Definition for Distributed Generation: a revision", Department of Electrical Engineering, Centro Politecnico Superior, University of Zaragoza, Zaragoza, Spain 2010.
- [5] Thomas Ackermann, Goran Andersson, and Lennart Soder, "Distributed Generation: a definition", ELSEVIER Electrical Power Sistem Research 57 (2001) 195-204, Desember 2000.
- [6] Gas Research Institute, Distributed Power Generation: A Strategy for a Competitive Energy Industry, Gas Research Institute, Chicago, USA 1998.
- [7] J. Cardell, R. Tabors, Operation and control in a competitive market: distributed generation in a restructured industry, in: The Energy Journal Special Issue: Distributed Resources: Toward a New Paradigm of the Electricity Business, The International Association for Energy Economics, Cleveland, Ohio, USA, 1998, pp. 111-135.
- [8] CIGRE, Impact of increasing contribution of dispersed generation on the power system; CIGRE Study Committee no 37, Final Report, September 1998.
- [9] D. Sharma, R. Bartels, Distributed electricity generation in competitive energy markets: a case study in Australia, in: The Energy Journal Special issue: Distributed Resources: Toward a New Paradigm of the Electricity Business, The International Association for Energy Economics, Cleveland, Ohio, USA, 1998, pp. 17-40.

- [10] Wanxing Sheng, Ke-yan Liu, and Sheng Cheng, "Optimal power flow algorithm and analysis in distribution system considering distributed generation", IET Generation, Transmission & Distribution, 2014, Vol. 8, Iss. 2, pp.261-272
- [11] Jabr R.A., Pal B.C., "Ordinal optimisation approach for locating and sizing of distributed generation", IET Generation, Transmission & Distribution, 2009, Vol. 3, Iss. 8, pp.713-723
- [12] Tuba Gözel, M. Hakan Hocaoglu "An analytical method for the sizing and siting of distributed generators in radial systems" ELSEVIER Electric Power Systems Research 79 (2009) 912-918
- [13] Suyanto,"*Algoritma Genetika dalam MATLAB*", Andi Offset Yogyakarta, 2005

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari analisis hasil simulasi serta pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Penempatan 1 DG 1MW pada bus 23 sistem ieee 33 bus, menghasilkan keluaran daya aktif maksimal sebesar 1 MW.
2. Penempatan 2 DG 1MW pada bus 15 dan 31 sistem ieee 33 bus, menghasilkan keluaran daya aktif maksimal sebesar 1 MW pada setiap DG.
3. Penempatan 3 DG 1MW pada bus 29,30 dan 32 sistem ieee 33 bus, menghasilkan keluaran daya aktif maksimal sebesar 1 MW pada setiap DG.
4. Rekonfigurasi jaringan dan penempatan 3 DG 1 MW mampu menghasilkan keluaran daya aktif DG maksimal sebesar 0,87 MW pada bus 27, 0,94 MW pada bus 30, dan 1 MW pada bus 33.
5. Penggunaan *Genetic Algorithm* mampu menghasilkan solusi optimal untuk menentukan lokasi penempatan DG yang sesuai agar diperoleh keluaran daya aktif DG yang maksimal.

5.2. Saran

1. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan kondisi nyata dilapangan sebaiknya sistem tidak diasumsikan dalam kondisi seimbang.
2. Pemaksimalan keluaran daya aktif DG sebaiknya juga memperhitungkan biaya pembangkitan dari jenis DG yang digunakan.